



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Estudio hidrogeológico en el sector “Rumicruz” mediante tomografías
eléctricas de resistividad

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Meneses Paucar, Stefanny Lizeth

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Stefanny Lizeth Meneses Paucar, con cédula de ciudadanía 1726329178, autora del trabajo de investigación titulado: Estudio hidrogeológico en el sector “Rumicruz” mediante tomografías eléctricas de resistividad, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de noviembre de 2023



Stefanny Lizeth Meneses Paucar

C.I: 1726329178

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estudio hidrogeológico en el sector "Rumicruz" mediante tomografías eléctricas de resistividad, presentado por Stefanny Lizeth Meneses Paucar, con cédula de identidad número 1726329178, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de noviembre de 2023.

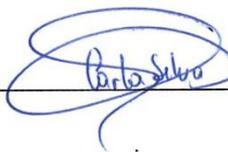
Patricio Santillán Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Anita Ríos, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Carla Silva, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Benito Mendoza, PhD.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estudio hidrogeológico en el sector "Rumicruz" mediante tomografías eléctricas de resistividad, presentado por Stefanny Lizeth Meneses Paucar, con cédula de identidad número 1726329178, bajo la tutoría de PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de noviembre de 2023.

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. Patricio Santillán



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Anita Ríos



Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Carla Silva





CERTIFICACIÓN

Que, **Meneses Paucar Stefanny Lizeth** con CC: **1726329178**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN EL SECTOR "RUMICRUZ" MEDIANTE TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD"**, cumple con el 3%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 14 de noviembre de 2023



BENITO GUILLERMO
MENDOZA TROJILLO

PhD. Benito Mendoza
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Dedicado a la disciplina y constancia de todos aquellos que nunca desisten ni bajan el ritmo de su paso y que con una fe inquebrantable verán que en su vida harán cosas que ni se imaginaban llegarán a pasar.

Stefanny Lizeth Meneses Paucar.

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre cuidarme, guiarme y por todas las bendiciones que llegaron a mi vida para permitirme ser una persona de bien.

A mi familia por su apoyo incondicional en mis estudios.

A la universidad Nacional de Chimborazo por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional y como buena ciudadana.

A mi tutor Ph.D. Benito Mendoza gracias a su disposición, paciencia, dirección y enseñanzas, para la realización de este trabajo.

A los técnicos del laboratorio de servicios ambientales por su compromiso y colaboración, que me permitieron resolver ciertas inquietudes y dudas a lo largo del trabajo de estudio.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para formarme como profesional.

A las personas que sin saberlo llegaron a mi vida para salvarme. MYG W.

Stefanny Lizeth Meneses Paucar.

ÍNDICE GENERAL

DERECOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 Introducción	18
1.2 Planteamiento del problema.....	19
1.3 Justificación	20
1.4 Objetivos.....	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS	22
2.1.1 Hidrología.....	22
2.1.2 Ciclo hidrológico.....	23
2.1.3 Distribución de agua en la Tierra	24
2.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	25
2.2.1 Hidrogeología.....	25
2.2.2 Agua subterránea.....	25
2.2.3 Acuíferos	26
2.2.4 Tipos de acuíferos	27

2.2.5	Características de los acuíferos	29
2.2.6	Recarga de los acuíferos.....	31
2.2.7	Captación de las aguas subterráneas	31
2.2.8	Conservación del agua subterránea.....	32
2.3	ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	33
2.3.1	Geología regional	33
2.3.2	Geología local	34
2.3.3	Estratigrafía	35
2.3.4	Estrato.....	36
2.4	ASPECTOS GEOFÍSICOS	37
2.4.1	Prospección	37
2.4.2	Geoeléctrica.....	37
2.4.3	Sondeo eléctrico vertical	38
2.4.4	Tomografía eléctrica	38
2.4.5	Tomografía eléctrica de resistividad	39
2.4.6	Resistividad eléctrica.....	39
2.4.7	Configuraciones de la tomografía de resistividad eléctrica (TRE)	40
2.4.8	Factores que afectan la resistividad.....	42
2.5	ASPECTOS DEL TRABAJO EN CAMPO	43
2.5.1	Ejecución de trabajo en campo.....	43
2.5.2	Procesamiento de datos	43
2.5.3	Configuración del método dipolo-dipolo	44
2.5.4	Software res 2DINV.....	45
2.5.5	Software voxler 3D	46
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	48
3.1	MÉTODO DE CAMPO.....	48
3.1.1	Configuración de equipo	48

3.1.2	Adquisición y procesamiento de datos.....	48
3.2	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.2.1	Tipo de investigación	50
3.2.2	Técnica de recolección de datos.....	50
3.2.3	Población y muestra	51
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1	ZONA DE ESTUDIO	52
4.1.1	Descripción de la zona de estudio	52
4.1.2	Definición de las líneas de trabajo	54
4.2	TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS	56
4.2.1	Resultados de las tomografías eléctricas.....	56
4.2.2	Análisis e interpretación de las tomografías	58
4.2.3	Análisis e interpretación de estratigrafía 3D	69
4.3	ENCUESTA APLICADA	71
4.4	MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.....	85
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
5.1	Conclusiones.....	87
5.2	Recomendaciones	88
6.	BIBLIOGRAFÍA	89
7.	ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores relativos de permeabilidad	30
Tabla 2 Tipo de SEV - dispositivo Schlumberger	38
Tabla 3 Valores típicos de resistividad.....	56
Tabla 4 Valores de resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 El ciclo hidrológico.....	24
Ilustración 2 Distribución de agua en la Tierra.....	25
Ilustración 3 Distribución del agua subterránea.....	26
Ilustración 4 Acuífero poroso	27
Ilustración 5 Acuífero fisurado	28
Ilustración 6 Acuíferos libre – confinado	29
Ilustración 7 Coeficiente de almacenamiento	31
Ilustración 8 Geología regional del Ecuador	33
Ilustración 9 Depósitos de avalancha y conos en la parroquia Calpi.....	35
Ilustración 10 Columna estratigráfica del principio de superposición de estratos.....	37
Ilustración 11 Esquemas del Electrical imaging y Electrical tomography	39
Ilustración 12 Arreglo Wenner	40
Ilustración 13 Arreglo Wenner-Schlumberger.....	41
Ilustración 14 Arreglo Dipolo- Dipolo	42
Ilustración 15 Ejemplo de división en celdas para la inversión numérica.....	44
Ilustración 16 Ejemplo de distribución de resistividades reales tras la inversión.....	44
Ilustración 17 Disposición de los electrodos en el arreglo Dipolo-Dipolo.....	45
Ilustración 18 Diagrama de untos de adquisición para el arreglo Dipolo – Dipolo.....	45
Ilustración 19 Ejemplo de representación del software voxler	47
Ilustración 20 Equipo SYSCAL-PRO	48
Ilustración 21 Montaje del equipo de Resistividad en campo	49
Ilustración 22 Verificación electrodo – suelo	49
Ilustración 23 Testeo de respuesta del suelo.....	50
Ilustración 24 Fórmula de probabilidad estadística	51
Ilustración 25 Piedra andina en forma de cruz.....	52
Ilustración 26 Mapa de ubicación de la zona de estudio	53
Ilustración 27 Sector Rumicruz	53
Ilustración 28 Mapa de ubicación de las líneas de trabajo.....	55
Ilustración 29 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales	57
Ilustración 30 Tomografía 1.....	58
Ilustración 31 Tomografía 2.....	59

Ilustración 32 Tomografía 3.....	60
Ilustración 33 Tomografía 4.....	60
Ilustración 34 Tomografía 5.....	61
Ilustración 35 Tomografía 6.....	61
Ilustración 36 Tomografía 7.....	62
Ilustración 37 Tomografía 8.....	62
Ilustración 38 Tomografía 9.....	63
Ilustración 39 Tomografía 10.....	63
Ilustración 40 Tomografía 11.....	64
Ilustración 41 Tomografía 12.....	64
Ilustración 42 Tomografía 13.....	65
Ilustración 43 Tomografía 14.....	65
Ilustración 44 Tomografía 15.....	66
Ilustración 45 Tomografía 16.....	67
Ilustración 46 Tomografía 17.....	67
Ilustración 47 Tomografía 18.....	68
Ilustración 48 Tomografía 19.....	68
Ilustración 49 Tomografía 20.....	69
Ilustración 50 Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa de estudio	70
Ilustración 51 Vista frontal de la Modelación tres dimensiones 3D corteza del estudio	70
Ilustración 52 Modelamiento en tres dimensiones 3D vista lateral	70
Ilustración 53 a. Sexo de los habitantes de la comunidad Rumicruz.....	71
Ilustración 54 b. Ocupación de los habitantes de la comunidad Rumicruz.....	71
Ilustración 55 c. Nivel de educación de la comunidad Rumicruz.....	72
Ilustración 56 Primera pregunta.....	72
Ilustración 57 Segunda pregunta.....	73
Ilustración 58 Nombre del sector	73
Ilustración 59 Tercera pregunta	74
Ilustración 60 ¿Quién gestiona?.....	74
Ilustración 61 Cuarta pregunta.....	75
Ilustración 62 Quinta pregunta.....	76
Ilustración 63 Sexta pregunta.....	76
Ilustración 64 Séptima pregunta	77

Ilustración 65 Octava pregunta	77
Ilustración 66 Novena pregunta	78
Ilustración 67 Décima pregunta	78
Ilustración 68 Décima primera pregunta.....	79
Ilustración 69 Décima segunda pregunta	79
Ilustración 70 Décima tercera pregunta	80
Ilustración 71 Décima cuarta pregunta	80
Ilustración 72 Décima quinta pregunta	81
Ilustración 73 Décima sexta pregunta.....	82
Ilustración 74 Décima séptima pregunta.....	82
Ilustración 75 Décima octava pregunta.....	83
Ilustración 76 Décima novena pregunta	83
Ilustración 77 Vigésima pregunta	84
Ilustración 78 Vigésima primera pregunta.....	85
Ilustración 79 Sector norte de Rumicruz.....	92
Ilustración 80 Sector este de Rumicruz.....	92
Ilustración 81 Sector sur de Rumicruz	92
Ilustración 82 Sector oeste de Rumicruz	92
Ilustración 83 Comunidad Rumicruz	92
Ilustración 84 Siembras en el sector	92
Ilustración 85 Montaje de los equipos en campo.....	93
Ilustración 86 Instalación de cables en campo.....	93
Ilustración 87 Colaboración de comuneros.....	93
Ilustración 88 Colocación de estacas	93
Ilustración 89 Testeo de electrodos.....	93
Ilustración 90 Puesta de cable.....	93
Ilustración 91 Lectura de la resistividad	94
Ilustración 92 Configuración de líneas	94
Ilustración 93 Toma de datos GPS.....	94
Ilustración 94 Comprobación electrodo-suelo	94
Ilustración 95 Espera de lectura de datos.....	94
Ilustración 96 Comuneros	94
Ilustración 97 Lectura de datos en campo.....	95

Ilustración 98 Procesamiento de resistividad.....	95
Ilustración 99 Ejecución de datos	96
Ilustración 100 Procesamiento de tomografías	96
Ilustración 101 Corrección de puntos	96
Ilustración 102 Interpolación de datos	96
Ilustración 103 Comuneros encuestados.....	97
Ilustración 104 Colaboración en la encuesta.....	97

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio hidrogeológico para la determinación del recurso hídrico, mediante la aplicación de tomografías eléctricas de resistividad, localizado en el sector de Rumicruz, de la parroquia Calpi, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

La tomografía eléctrica de resistividad es el método geofísico aplicado para este estudio, con el fin de obtener la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo tanto lateral como en profundidad, se empleó el instrumento Syscal Pro de marca IRIS INSTRUMENTS que opera en línea con un total de 48 electrodos, dos cables de 120 metros de longitud cada uno, complementan el equipo otros elementos como una batería de 12 voltios (V), un GPS y combos, además que el equipo fue configurado para que realice las lecturas con el arreglo Dipo – Dipolo, ya que presenta una alta resolución para los contrastes laterales de resistividad y un mayor número de mediciones, por lo tanto es bueno para encontrar estructuras verticales tales como cavidades.

Posterior al trabajo en campo, el procesado de los datos consiste en obtener un modelo de distribución de las resistividades reales del subsuelo, a partir de los valores de resistividad aparente mediante el método de diferencias finitas, el cual consiste en una división del subsuelo en celdas, con un valor inicial de la resistividad real y así obtener para cada celda un valor de la resistividad aparente y comparar con los valores de campo. De manera iterativa se van ajustando los valores de resistividad de cada celda, hasta conseguir un error mínimo, esto se lo realizó de manera automatizada con la ayuda del software Res2dinv, el cual está diseñado para interpolar datos de campo de prospección geofísica.

Los resultados de estratigrafía de este estudio fueron modelados con el software voxler, programa con el cual se generó imágenes personalizada en 3D del sector Rumicruz, obteniendo valores de resistividad tanto mínimos como máximos que oscilan entre 69.2 a 1371.88 Ohm*m, cifras que nos permiten deducir que en el área de estudio se presenta una zona en la que el suelo está constituido con productos de origen volcánico y depósitos sedimentarios.

Palabras claves: Hidrogeología, Syscal Pro, arreglo Dipolo-Dipolo, software voxler, software Res2Dinv.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out a hydrogeological study for the determination of the water resource through the application of electrical resistivity tomography located in the Rumicruz sector of the Calpi parish, in the Riobamba canton, province of Chimborazo. Electrical resistivity tomography is the geophysical method applied for this study; to obtain the distribution of the electrical resistivity of the subsoil both laterally and in-depth, the IRIS INSTRUMENTS Syscal Pro instrument was used, which operates in line with a total of 48 electrodes, two cables of 120 meters long each, The equipment is complemented by other elements such as a 12 volt (V) battery, a GPS and combos, in addition, the equipment was configured to perform readings with the Dipo-Dipole arrangement since it has a high resolution for lateral resistivity counteracts. Therefore, a more significant number of measurements is suitable for finding vertical structures such as cavities. After the fieldwork, the data processing consists of obtaining a distribution model of the real resistivities of the subsoil from the apparent resistivity values using the finite difference method, which consists of a division of the subsoil into cells, with an initial value of the absolute resistivity and thus obtain for each cell a matter of the apparent resistivity and compare it with the field values. Iteratively, the resistivity values of each cell are adjusted until a minimum error is achieved; this was done in an automated way with the help of Res2dinv software, which is designed to interpolate field data from geophysical prospecting. The stratigraphy results of this study were modeled with Voxler software, a program with which personalized 3D images of the Rumicruz sector were generated, obtaining minimum and maximum resistivity values ranging from 69.2 to 1371.88 Ohm*m, figures that allow us to deduce that in the study area, there is a zone in which the soil is constituted with products of volcanic origin and sedimentary deposits.

Keywords: Hydrogeology, Syscal Pro, Dipole-Dipole array, Voxler software, Res2Dinv software.



MARIA FERNANDA
PONCE MARCILLO

Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El planeta Tierra considerado un planeta azul, debido a que el 70% de la superficie está cubierta por agua que se encuentra naturalmente en varias formas y lugares, de ésta aproximadamente el 3% del agua total en la tierra es agua dulce, y se halla en su mayoría congelada en glaciares y casquetes, el resto se presenta principalmente en forma de agua subterránea, y sólo una pequeña fracción se encuentra en la superficie o en la atmósfera, (Burbano et al., 2015a).

Es decir, la disponibilidad de agua dulce en el planeta es limitada, por lo que se hace importante estudiar diferentes técnicas de captación de agua potable, la construcción de pozos profundos es un método eficaz, en lugares que por su ubicación y clima de sequía no hay facilidad de acceso de agua superficial para el consumo humano.

La Constitución actual del Ecuador reconoce el derecho de todos los ciudadanos al agua para consumo humano, el cual necesita ser garantizado mediante la adopción de medidas, que preserven las fuentes y reservas de agua. En este contexto, las zonas potencialmente acuíferas juegan un rol preponderante, además de que existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer a la población, ya que constituye de forma esencial para la seguridad alimentaria y a la vez que es vital para el funcionamiento de los ecosistemas, (Asprilla, 2018).

La presión sobre los recursos hídricos está en aumento, principalmente como resultados de las actividades humanas tales como la urbanización, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida, la creciente competencia por el agua y la contaminación, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales, (Weinzettel et al., 2017).

En particular la tomografía de resistividad eléctrica (TRE) ha mostrado en los últimos años un incremento en su utilización ya que presenta la ventaja de obtener perfiles de resistividad continuos a partir del desarrollo de potentes programas de inversión. A partir de estos perfiles se puede ver claramente la presencia de discontinuidades como fallas o cambios litológicos abruptos especialmente en zonas con cierta complejidad estructural. Por otra parte, permite caracterizar al acuífero a partir de las resistividades obtenidas relacionando estas con los parámetros hidráulicos y observar heterogeneidades y anisotropías de este, permitiendo de esta forma mejorar la conceptualización del sistema

acuífero y plantear de una manera más eficiente su explotación. También es utilizada para identificar zonas contaminadas o hacer un seguimiento de una pluma contaminante entre otras aplicaciones. Para el estudio de la zona no saturada también ha mostrado gran utilidad, pudiéndose determinar pasajes preferenciales de agua al acuífero, (Subsuelo3D, 2017).

En este contexto, las diversas dificultades sociales, técnicas y económicas que impiden contar con un eficiente y adecuado servicio de agua potable, que contribuya al bienestar de la población de Rumicruz y a su desarrollo. Por lo que, es importante ubicar áreas favorables de almacenamiento de agua subterránea para extraerla factiblemente, a fin de satisfacer la demanda de este recurso para la ciudadanía, y además de procurar establecer una alternativa técnica, económica, sostenible y socialmente viable para el uso del agua subterránea.

1.2 Planteamiento del problema

El agua en el mundo es un recurso cada vez más escaso y su uso ha venido aumentando un 1% anual en todo el mundo desde los años 80 del siglo pasado, impulsado por una combinación de aumento de la población, desarrollo socioeconómico y cambio en los modelos de consumo. La demanda mundial de agua se espera que siga aumentando a un ritmo parecido hasta 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua, debido principalmente al aumento de la demanda en los sectores industrial y doméstico. Más de 2.000 millones de personas viven en países que sufren una fuerte escasez de agua, y aproximadamente 4.000 millones de personas padecen una grave escasez de agua durante al menos un mes al año. Los niveles de escasez seguirán aumentando a medida que crezca la demanda de agua y se intensifiquen los efectos del cambio climático, (Ruiz & Rada, 2015).

En el contexto mundial, América Latina y el Caribe frecuentemente es citada como una zona del planeta en la cual existe abundancia de recursos hídricos, sin embargo a pesar de su abundancia hídrica, así como de las significativas inversiones en infraestructura, fuertes políticas macroeconómicas y la presencia de democracias sólidas, existe amplia evidencia de que los problemas de agua se están afectando diariamente las vidas de millones de personas, lo que convierte a la escasez en un asunto político y social de gran importancia, (Daus, 2019).

En Ecuador, así como en el mundo, la sociedad utiliza las aguas subterráneas como fuentes de abastecimiento y desarrollo ya que los ciudadanos se han centralizado en un lugar donde los recursos hídricos son factibles para su uso cotidiano, la creciente demanda de agua además de la falta de dicho recurso, necesario para el consumo humano. El abastecimiento

de agua potable en el sector de Rumicruz es mínimo respecto a su población, la mayor parte de las viviendas deben acarrear agua de un reservorio comunal hacia sus viviendas. Esto ha provocado que exista presencia de enfermedades gastrointestinales por efecto de contaminación que se da en este reservorio y en el transporte del agua hacia las viviendas. Por lo que, la escasez de agua no solo es un problema de carácter ambiental sino sanitario.

La demanda de agua potable como servicio básico en el sector va en incremento debido a la forma exponencial de crecimiento poblacional en la zona es así como la población tiene que ingeniarse maneras para abastecer del recurso, y que algunas de ellas que no poseen de este servicio a pesar de que existen acometidas en sus viviendas. Bajo este contexto el agua potable de origen subterráneo es una alternativa para abastecer de agua para los pobladores. Por tanto, la demanda hídrica se convierte en un problema de carácter ambiental y humano, ya que es imperiosa la necesidad de obtener el recurso, así como lo describe la Constitución del Ecuador (2008). Por otra parte, el desconocimiento del subsuelo y de las características hidrogeológicas del sector, provocarían sobre explotación de agua subterránea, lo que conduciría a un impacto significativo en la producción de agua subterránea. De ahí la necesidad de conocer las estructuras hidrogeológicas del sector, con el fin de promover una gestión adecuada de los recursos hídricos subterráneos, (Cortez, n.d.).

1.3 Justificación

Las aguas subterráneas son un recurso substantivamente más abundante que las aguas superficiales, pero en general se las conoce menos y se las gestiona sin el adecuado conocimiento científico y técnico, degradándose o no utilizándose en definitiva el recurso. En el Ecuador existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer poblaciones o para la irrigación de cultivos; constituye un recurso esencial para la seguridad alimentaria, a la vez que es vital para el funcionamiento de los ecosistemas.

De esta manera en la parroquia Calpi directamente en el sector de Rumicruz no cuentan con una distribución correcta del recurso hídrico para su comunidad, por el contrario el recurso que ellos obtienen es traído de las comunidades vecinas generando conflicto entre los moradores, como alternativa ante la falta de agua en el sector la población de Rumicruz se vio forzada a realizar por su propia cuenta la excavación de pozos para la obtención del agua, sin tener éxitos la comunidad optó por buscar técnicos que pudieran realizar estudios apropiados en el sector para la obtención del recurso hídrico en su comunidad. Es así como la Universidad Nacional de Chimborazo tomó este trabajo como un estudio hidrogeológico mediante tomografías eléctricas de resistividad de la zona, para constatar la posible

existencia de agua, además de poder identificar el potencial hidrogeológico como punto a favor de la comunidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Estudiar las características hidrogeológicas del sector “Rumicruz” mediante la interpretación de la estratigrafía obtenida con tomografías eléctricas de resistividad, geología y proponer medidas de conservación de las aguas subterráneas en el sector.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la geología regional y local para identificar las zonas hidrogeológicas en el sector Rumicruz.
- Realizar el estudio estratigráfico en (2 y 3 dimensiones) del sector de Rumicruz mediante tomografías eléctricas de resistividad.
- Identificar el potencial hidrogeológico para proponer medidas de conservación de las aguas subterráneas del sector.

2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

2.1.1 Hidrología

La palabra hidrología viene del vocablo griego *hidro* que significa agua y *logos*: tratado; es una ciencia que se dedica al estudio del agua dentro del planeta tierra, que incluye su ocurrencia, circulación y distribución a través del ciclo hidrológico, así como también sus propiedades tanto químicas, físicas y su relación con los seres vivos y el medio ambiente, (Gutiérrez, 2014).

La hidrología es una de las ciencias más antiguas de la humanidad debido a que está relacionado con la evolución de las necesidades del ser humano, es decir que en un principio las aglomeraciones humanas se formaban alrededor del agua, lagos o riberas, lo cual facilitaba el acceso al recurso y al transporte de personas y mercancías. Los primeros problemas que el hombre encontró fue la transformación mecánica del agua. Las primeras construcciones realizadas para el aprovechamiento del agua comprendían poco de hidrología. En este sentido las primitivas obras hidráulicas se pueden considerar como los primeros estudios llevados a la práctica realizados por el hombre sobre el agua (Corruña, n.d.)

Teniendo en cuenta la amplitud de la Hidrología la división de esta ciencia ha sido y es una tarea bastante difícil. Según Debski, la Hidrología puede dividirse conforme a tres criterios:

El espacio físico donde el agua está confinada.

- Hidrometeorología: Estudio de los fenómenos meteorológicos en relación directa con la Hidrología.
- Potamología: Estudio de las aguas superficiales (ríos, riberas, torrentes y arroyos).
- Limnología: Estudio de los lagos.
- Oceanografía: Estudio de los océanos.
- Pedohidrología: Estudio del agua en la primera capa del suelo.
- Hidrogeología: Estudio de las aguas subterráneas.

Las etapas cronológicas de la investigación científica.

- Hidrometría: Estudio de la medida del agua y de sus características físicas.
- Hidrografía: Descripción geográfica regional o monográfica de los fenómenos hídricos.

- Hidrología científica: Búsqueda de las causas y consecuencias de los fenómenos hídricos y de sus relaciones funcionales.

Los diferentes temas de investigación.

- Hidrología integral: estudio de los problemas de circulación y movimiento del agua en la Tierra.
- Criología: Estudio de los fenómenos hidrológicos relativos a la nieve y al hielo.
- Glaciología: Estudio de la formación, del movimiento y características de los glaciales.
- Crenología: Estudio de los manantiales.
- Hidroquímica: Estudio de las propiedades químicas del agua.
- Hidrofísica: Estudio de las propiedades físicas del agua.
- Biohidrología: Ciencia del agua como medio biológico, (Corruña, n.d.)

2.1.2 Ciclo hidrológico

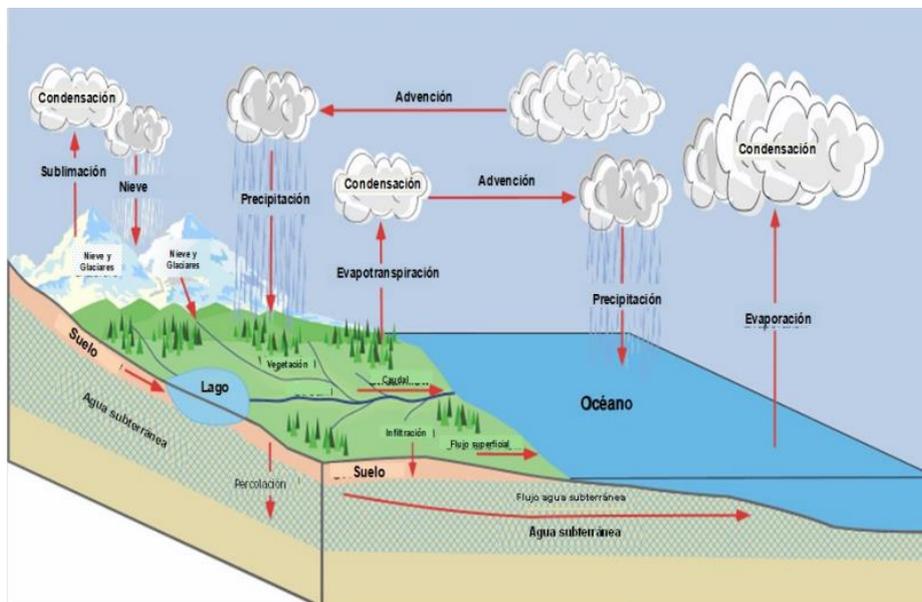
El ciclo hidrológico se define como un conjunto de procesos interrelacionados de cambios continuos que experimenta el agua en la naturaleza; el movimiento permanente y transporte recirculatorio del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la energía solar y la gravedad. La primera el sol proporciona la energía para elevar el agua del suelo en forma de evaporación y la segunda la gravedad terrestre, hace que el agua condensada descienda en forma de precipitación y una vez sobre la superficie terrestre da paso a la escorrentía superficial y subterránea, (Ordoñez, 2011).

El ciclo sin fin del agua recibe este nombre debido a que se alimenta a sí mismo y no se puede precisar un principio ni un fin, pero se puede hacer visible comenzando en los océanos con la evaporación del agua. El calor del sol aporta la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua; este proceso de cambio de estado de fase líquida a gas se denomina evaporación, (García & Leal, 2009).

Cuando la humedad relativa del aire es del 100% (punto de saturación) comienza la condensación, proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida dando lugar a las formaciones de nubes. Estas nubes en determinadas condiciones de presión y temperatura originan precipitaciones. La precipitación puede ocurrir en forma de nieve y acumularse en los glaciares. Su fusión, junto con el resto de las precipitaciones da lugar al agua superficial y subterránea. (García & Leal, 2009).

Una parte del agua superficial fluye hasta el mar; otra parte se infiltra en el terreno y el resto se evapora. El agua que se infiltra atraviesa una zona no saturada que solo retiene una limitada cantidad de agua en forma de humedad del suelo; donde puede evapotranspirarse por acción de las plantas. La máxima cantidad del agua que retiene el suelo en esta zona se denomina capacidad de campo. El exceso pasa a través del perfil hacia la zona inferior hasta el acuífero, una zona saturada donde fluye el agua subterránea. Debido a las fuerzas de presión y de gravedad, el agua subterránea se mueve de zonas de mayor a menor potencial hidráulico. Además, puede ascender por capilaridad hacia la zona superior manteniendo una estrecha relación con el agua superficial siendo sus aportaciones en muchos casos imprescindibles para mantener el caudal de los ríos (Gutiérrez, 2014).

Ilustración 1 El ciclo hidrológico



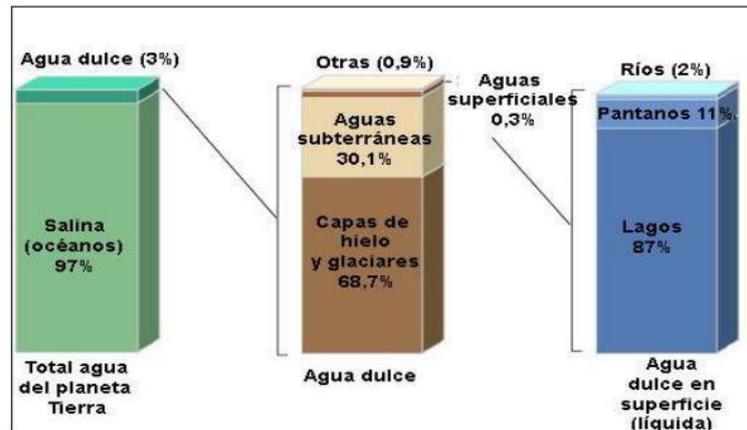
Fuente: (Ordoñez, 2011).

2.1.3 Distribución de agua en la Tierra

El agua presente en el planeta Tierra corresponde a las $\frac{3}{4}$ partes de la superficie terrestre, es decir que un 71% de recurso hídrico se encuentra en cualquier lugar de la biósfera y en los tres estados de agregación de la materia, en su estado sólido se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, líquido en los océanos y en las aguas continentales y en su estado gaseoso como vapor en la atmósfera, el 97% de agua corresponde al agua salada de los mares y océanos y solo el 3% es agua dulce, de ésta un 95% constituye aguas subterráneas; 3.5% corresponde a aguas superficiales y el 1.5% a la humedad acumulada en

los suelos. De toda el agua dulce existente un 0.36% está disponible para su consumo, (Burbano et al., 2015b).

Ilustración 2 Distribución de agua en la Tierra



Fuente: (Burbano et al., 2015b).

2.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

2.2.1 Hidrogeología

En 1802, el francés Lemarck utilizó el vocablo hidrogeología para definir al conjunto de fenómenos erosivos producidos por el agua (erosión, transporte y sedimentación). En 1880, el inglés Lucas empleó el término hidrogeología para referirse al estudio geológico en la investigación de aguas subterráneas; sin embargo, esta definición no fue aceptada por los científicos de la época, (Burbano et al., 2015b).

En 1939, Meizner propone a la Asociación Internacional de Hidrología el término geohidrología para definir a la parte de la hidrología que trata de las aguas subterráneas.

El concepto universalmente aceptado, es el que citan E. Custodio y M.R. Llamas, en el libro “Hidrología Subterránea”, Ediciones Omega S.A., Barcelona 1983, pg. 249: “La hidrogeología es la rama de la hidrología que trata del agua subterránea, su yacimiento y movimientos, su enriquecimiento y empobrecimiento; de las propiedades de las rocas que controlan sus movimientos y almacenamiento, así como de los métodos de su investigación, utilización y conservación”, (Burbano et al., 2015b).

2.2.2 Agua subterránea

Es agua que se almacena y circula en el subsuelo, formando los acuíferos. La principal fuente de contribución es el agua de lluvia, a través del proceso de infiltración. Otras fuentes de alimentación pueden ser ríos, arroyos, lagos y estanques. El agua

subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y se encuentra completamente saturando en los poros y grietas del terreno que fluye naturalmente hacia la superficie a través de vertientes, manantiales o cauces fluviales. Las aguas superficiales se infiltran en el terreno por los poros y las grietas del suelo, hasta llegar a una cierta profundidad en donde todos los huecos están llenos de agua. Esta zona se llama zona de saturación o capa freática. Su límite superior se llama superficie de saturación o superficie freática, (Fuentes, n.d.).

Ilustración 3 Distribución del agua subterránea



Fuente: (Fuentes, n.d.).

La zona comprendida entre la superficie de saturación y la superficie del suelo, llamada zona de aireación está recorrida por el agua que se infiltra hacia abajo y el vapor de agua que tiende a escapar hacia la atmósfera. El agua de la zona de saturación asciende por capilaridad por los pequeños intersticios del terreno, formando una franja capilar de mayor o menor espesor, según la naturaleza del terreno: puede no existir o elevarse uno, dos o hasta tres metros por encima de la superficie de saturación. Esta franja capilar se observa por encima del agua en las orillas arcillosas de los ríos cuando el terreno forma un talud desprovisto de vegetación, (Fuentes, n.d.).

2.2.3 Acuíferos

Se define como acuíferos a las formaciones geológicas o medio rocoso constituidos por volumen subterráneo de roca y arena que contienen agua subterránea, mencionando que todos los acuíferos cumplen con dos características fundamentales que son la de almacenar y conducir el agua subterránea; de modo que el agua pueda surgir a la superficie de manera

natural a través de manantiales áreas de rezume caudales fluviales o directamente al mar o de forma artificial por pozos, galerías y otro tipo de captaciones.

Tradicionalmente las rocas se clasifican por sus propiedades conductoras como:

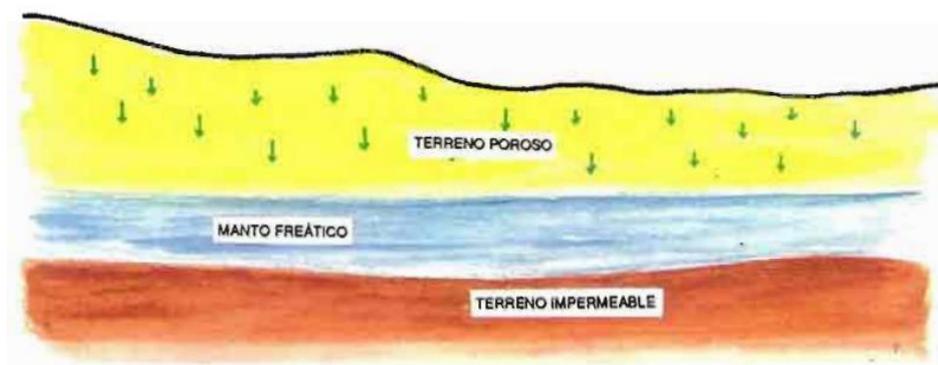
- **Buenas conductoras-acuíferos:** formación geológica capaz de contener y transmitir agua en cantidades significativas. Por ejemplo, las terrazas fluviales, las calizas del páramo de la Alcarria, etc.
- **Malas conductoras o semiconductoras-acuitardos:** formación geológica capaz de contener agua y transmitirla lentamente. Por ejemplo, los limos arenosos.
- **No conductoras -acuífugos:** formación geológica que no contiene ni transmite agua. Por ejemplo, las rocas ígneas no fracturadas ni meteorizadas, (Villarroya, 2009).

2.2.4 Tipos de acuíferos

A. Según por el tipo de materiales o terrenos que los constituyen (materiales constituyentes):

- **Acuíferos porosos:** Están constituido por materiales sueltos no consolidados generalmente son gravas areniscas, arenas, toscas o calcarenitas, se encuentran en los primeros 50a 150 metros de profundidad. El agua circula con facilidad por los poros o espacios que dejan entre si las partículas sólidas (Fuentes, n.d.).

Ilustración 4 Acuífero poroso

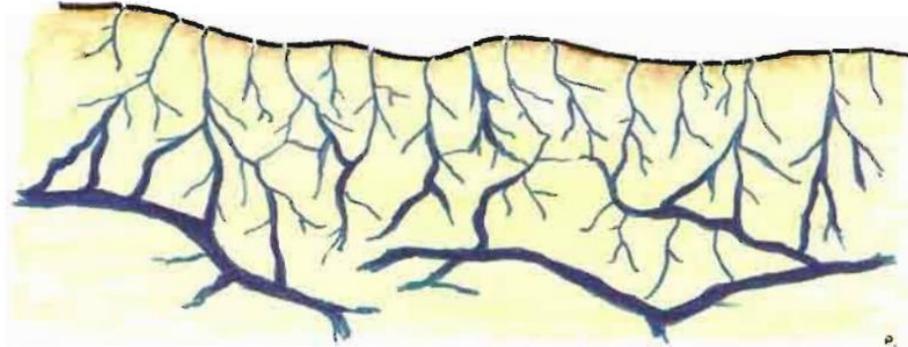


Fuente: (Fuentes, n.d.).

- **Acuíferos fisurados:** están constituidos por rocas consolidadas en donde el agua circula por las fisuras y grietas. Algunas rocas como son las calizas y dolomitas que bajo determinadas condiciones son solubles al agua con lo cual las fisuras se

agrandan formando conductos y cavidades de considerable tamaño, a este fenómeno se le conoce como karstificación.

Ilustración 5 Acuífero fisurado



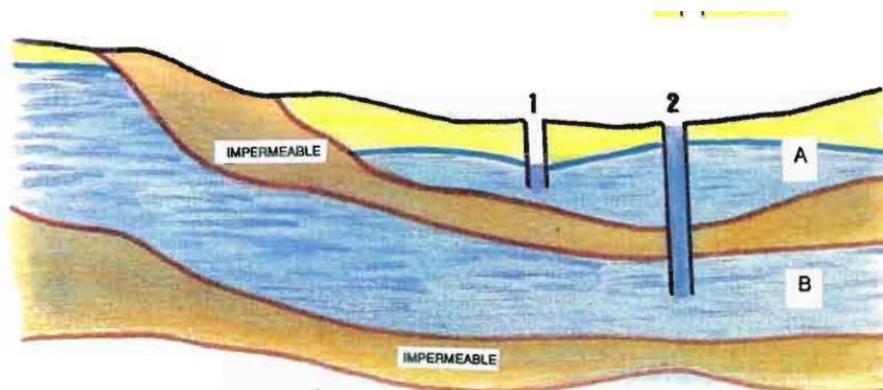
Fuente:(Fuentes, n.d.)

- **Acuíferos porosos y fisurados:** Las areniscas y los conglomerados son un tipo de roca intermedia entre las consolidadas y las no consolidadas. Están formadas por materiales sueltos como arena en el caso de las areniscas y grava en el caso de los conglomerados unidos mediante un cemento generalmente calcáreo o silíceo.

B. Según por el grado de presión a que está sometida el agua:

- **Acuíferos libres, freáticos o no confinados:** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.
- **Acuíferos confinados, cautivos artesianos o a presión:** Son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.
- **Acuíferos semiconfinados:** Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua, (Ordoñez, 2011a).

Ilustración 6 Acuíferos libre – confinado



Fuente: (Fuentes, n.d.)

C. Según por su situación geográfica:

- **Acuíferos costeros:** son los que están en contacto con el mar y, por lo tanto, tiene una zona invadida por el agua salda
- **Acuíferos continentales:** son los que no tienen contacto alguno con el mar pudiendo estar relacionados o no con ríos o ramblas.

2.2.5 Características de los acuíferos

La propiedad de los acuíferos de contener agua está gobernada por varios factores: porosidad, permeabilidad, transmisibilidad específica y coeficiente de almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo, (Burbano et al., 2015b).

Porosidad (n)

La porosidad de un terreno se define como la relación del volumen de vacíos al volumen total del terreno que los contiene. Esta depende de un gran número de factores como:

- naturaleza fisicoquímica del terreno
- granulometría
- cementación
- fisuración

La porosidad de un terreno puede variar entre márgenes muy amplios, de 80% a 90 % en depósitos recientes como aluviales, hasta menos del 1% en rocas compactas como intrusivos y rocas metamórficas (Burbano et al., 2015b).

Permeabilidad (k)

Es la capacidad de un terreno de permitir el paso de agua se llama coeficiente de permeabilidad y se lo define como el caudal de agua que se filtra, a través de una sección de área de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario; tiene dimensiones de una velocidad, (Burbano et al., 2015b).

Tabla 1 Valores relativos de permeabilidad

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	1×10^{-1} a 1×10^{-3}	Arena; arena fina
Poco permeable	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Arena limosa; arena sucia
Muy poco permeable	1×10^{-5} a 1×10^{-7}	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: (Burbano et al., 2015b)

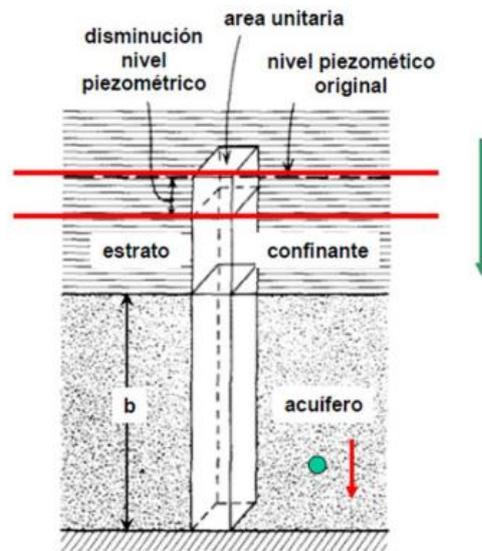
Transmisibilidad (T)

El coeficiente de transmisibilidad fue introducido por Theis (1935) y lo define como el caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado, bajo un gradiente hidráulico unidad; sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud. Expresándose en consecuencia en $m^2 / día$ o cm^2 / s , (Burbano et al., 2015b).

Coeficiente de almacenamiento (S)

Es adimensional y se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico es decir es el volumen de agua liberado por una columna de base unidad y de altura todo el espesor del acuífero, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad. En acuíferos en condiciones libres, el coeficiente de almacenamiento S es igual a la porosidad eficaz. Los valores del coeficiente de almacenamiento S son distintos y pueden variar de 0.05 a 0.30 en condiciones libres y caer en el campo de las diez milésimas o cien milésimas en condiciones artesianas (10^{-3} a 10^{-5}), (Burbano et al., 2015b).

Ilustración 7 Coeficiente de almacenamiento



Fuente: (Ordoñez, 2011a)

2.2.6 Recarga de los acuíferos

La recarga es la entrada de agua a los acuíferos, y por lo tanto un valor esencial. Se puede considerar varias formas de recarga:

- **Difusa:** La que proviene de la infiltración de la precipitación sobre el territorio en general como lluvia, pero también como nieve.
- **Concentrada:** A partir de aguas superficiales cuando hay condiciones hidráulicas para que se produzca (nivel freático por debajo del nivel del agua superficial).
- **Lateral:** Se presenta a partir de transferencia de agua superficial o subterránea desde áreas montañosas más lluviosas a las áreas llanas entre ellas.
- **Interacuífero:** se a través de acuitardos.

La recarga de los acuíferos representa un fenómeno que responde a ciertas condiciones esta influye que el suelo sea más o menos arenoso, que este desnudo o con cultivos, que presente bosque o matorrales, etc. (Custodio & Cabrera, n.d.).

2.2.7 Captación de las aguas subterráneas

El agua subterránea se recolecta principalmente a través de los pozos verticales y horizontales, tales como corredores de filtración y zanjas de drenaje y son ampliamente distribuidos en el mundo. Un pozo de agua es un proyecto complejo, diseñado y construido para satisfacer las necesidades específicas de obtener agua subterránea de los acuíferos. La vida útil de un pozo puede ser de varias décadas, sin embargo, una vez agotado, debe ser

abandonado y sellado. Los pozos artesanales presentan, generalmente un diámetro entre 1,5 y 8 metros, con una profundidad moderada o incluso pueden sobrepasar la decena, dependiendo el área donde se lo realice y su topografía. El material con el que los pozos se revisten es de ladrillos o de aros de hormigón para permeabilizar la salida del agua y la obtención del agua se realiza mediante bombas que pueden ser sumergidas o estar en cámaras secas, (Román, 2022).

El objetivo principal de una captación de agua subterránea se basa en una búsqueda por obtener el mayor caudal con el menor descenso de niveles, con la debida protección de la calidad del recurso hídrico. Salvo el caso no común de galerías o minas de agua, aunque es lo más frecuente en Tenerife o drenes en terrenos de nivel freático muy somero, en general se trata de pozos de los que hay que extraer el agua por bombeo, lo que se debe hacer con el menor consumo de energía ósea con la mayor eficiencia hidráulica, (Custodio & Cabrera, n.d.).

2.2.8 Conservación del agua subterránea

Las medidas para proteger al recurso hídrico subterráneo de la contaminación están orientadas a prevenirla, a eliminar sus consecuencias y a preservar su calidad, para asegurar un uso efectivo de la misma. Dado que la contaminación del agua subterránea está íntimamente relacionada con el estado del agua superficial, la atmósfera, la lluvia y el suelo, su protección debe encararse al mismo tiempo y sobre la base de pautas que apunten a la preservación del ambiente en forma global, (Auge, 2008).

La experiencia indica que la restauración de la calidad de un acuífero deteriorado por el ingreso de uno o varios contaminantes constituye una tarea sumamente complicada en el aspecto técnico y generalmente de elevado costo. Es prácticamente imposible restaurar un acuífero a su condición original y con frecuencia, ni siquiera se logra recomponerlo para las exigencias que requiere el uso. En definitiva, es válido para los recursos naturales en general prevenir que curar, (Auge, 2008).

El primer paso para un adecuado sistema de prevención hidrogeológico es la instalación de una red para el monitoreo de niveles y calidad del agua subterránea. El monitoreo implica seguimiento y, por lo tanto, se refiere a mediciones y muestreos reiterados. La periodicidad del monitoreo depende de variados factores como régimen de flujo (natural o artificial - extracción); fuentes reconocidas o potenciales de contaminación (ubicación y características), carga, movilidad, persistencia y toxicidad de los

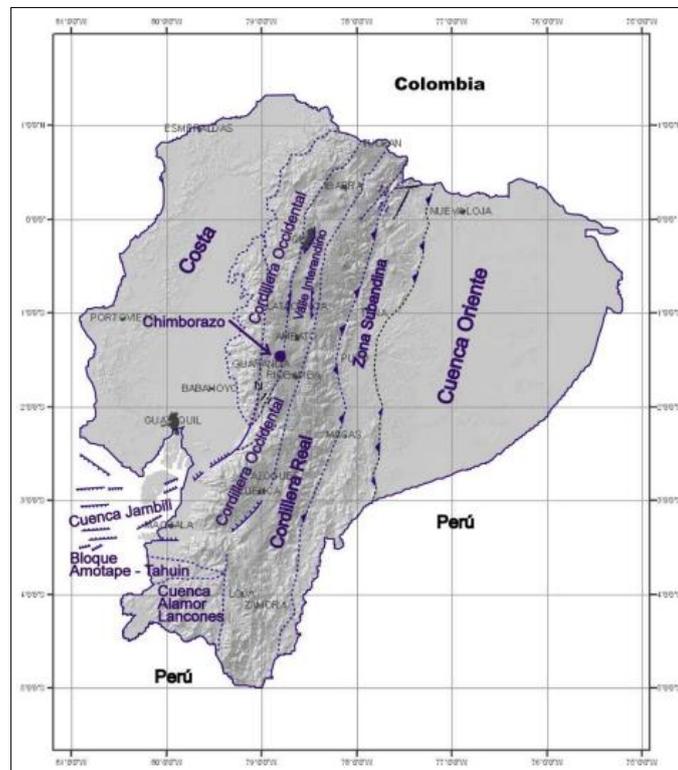
contaminantes; tamaño del acuífero; comportamiento hidráulico (libre, semiconfinado o confinado); características y espesor de la zona subsaturada; características y posición de la zona de recarga y profundidad de los acuíferos, (Auge, 2008).

2.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.3.1 Geología regional

El Ecuador continental está dividido en tres regiones fisiográficas principales, cada una de ellas está constituido por uno o varios terrenos geológicos diferentes y son el resultado de varios procesos tectónicos de acreción y levantamiento. Según su región fisiográfica conformadas de este a oeste la Amazonia u Oriente ecuatoriano abarca la zona Subandina y la cuenca oriente, la Sierra comprende la cordillera occidental, el valle interandino, las cuencas intramontañosas del sur y la cordillera real y la Costa abarca la planicie costera, el golfo de Guayaquil, la cuenca Alamor y el bloque amotape, (Barba, 2006).

Ilustración 8 Geología regional del Ecuador



Fuente: (Barba, 2006).

La región Amazónica corresponde a la cuenca ante-pais de transarco de los Andes y se conforma por rellenos sedimentarios del Paleozoico al Reciente, la formación sedimentaria más vieja la conforman las calizas, pizarras, lutitas y areniscas, (Barba, 2006).

La Cordillera Real es conformada por una secuencia supracortical de rocas metamórficas, dispuestas en forma de cinturones tectono-estratigráficos; es decir que constituye una cadena continua de 650 km de largo y está compuesta por una secuencia de rocas metamórficas cubierta por depósitos volcánicos y en ciertas áreas de la Cordillera, donde se sobrepasa los 2800 msnm se observan valles en forma de “U” valles colgantes. La elevación promedio de la Cordillera Real se encuentra entre 3550-4000 msnm, pero existen la presencia de volcanes que sobrepasan los 5000 msnm de los cuales se destacan: Cayambe (584m), Antisana (5790m), Tungurahua (5016 m), Altar (5319 m), Sangay (5230), (Barba, 2006).

El valle interandino esta compuesta de una cobertura volcano sedimentaria Plio-cuaternaria, depositada posiblemente sobre rocas de la Cordillera Real, las cuales formarían el basamento del valle interandino, (Salguero, 2017).

El basamento de la cordillera Occidental se compone de rocas máficas y ultramáficas de naturaleza alóctona, estas rocas exhiben una afinidad geoquímica de plateau oceánico y en análisis isotópicos lo que conlleva a que estas rocas de plateau oceánico de la Cordillera Occidental y la costa de Ecuador se derivan del Plateau Oceánico del Caribe y Colombia de edad Cretácico Tardío. Además, forma parte de los Andes del Norte los cuales son parcialmente formados por la acreción de bloques oceánicos alóctonos. La altitud de la cordillera occidental varia desde los 1000 hasta los 4000 msnm. En la Cordillera Occidental se pueden observar varios sistemas ecológicos incluyendo bosque costero tropical premontano, bosque mesófilo de montaña y páramo pastizales de altura por encima de 3800 msnm. Entre los 200 msnm y 1700 msnm la vegetación es densa y se compone de bosques tropicales primarios, (Salguero, 2017).

2.3.2 Geología local

La litología de la ciudad de Riobamba corresponde a depósitos sedimentarios conformado por distintos estratos grano decrecientes de color grisáceo con un alto grado de litificación compuesto por:

- a) Limos y areniscas finas
- b) Conglomerados

c) Areniscas

La litología de la parroquia Calpi corresponde a los productos de origen volcánico generados por el complejo de conos monogénicos Conos de Calpi, estos conos comprenden una sucesión piroclástica, medianamente oxidados poco estratificados y representan una estructura cónica redondeada, relieves bajos de aproximadamente 100 y 120 metros, (Salguero, 2017).

Ilustración 9 Depósitos de avalancha y conos en la parroquia Calpi



Fuente: Autor.

La formación rumicruz se define como una serie de conglomerados y lutitas rojas “red beds” conocidos comúnmente como lechos rojos, su color característico de debe principalmente a la presencia de óxidos férricos, litológicamente está formada por secuencias grano creciente conglomeráticas matriz soportada brechas areniscas de grano grueso, lodolitas rojas y lutitas. Fragmentos de madera fosilizada y son comunes a lo largo de la secuencia sugiriendo que esta fue depositada en un abanico deltaico. (Salguero, 2017).

2.3.3 Estratigrafía

La palabra estratigrafía etimológicamente está compuesta por dos raíces latinas, la primera *Stratum* que significa manto, capa y *Graphos* que significa descripción. Se puede definir como la ciencia que se ocupa de la descripción de capas o mantos de sucesiones de roca y la correlación de eventos y procesos geológicos en tiempo y espacio, (Cuesta, n.d.). (Guerrero & Bravo, 2011), mencionan que la mayoría de los materiales que componen a nuestro planeta son rocosos y sedimentarios además que se depositan en capas superpuestas,

conocidas formalmente como estratos. Su estudio corresponde a la Estratigrafía y esta tiene sus objetivos principales que son:

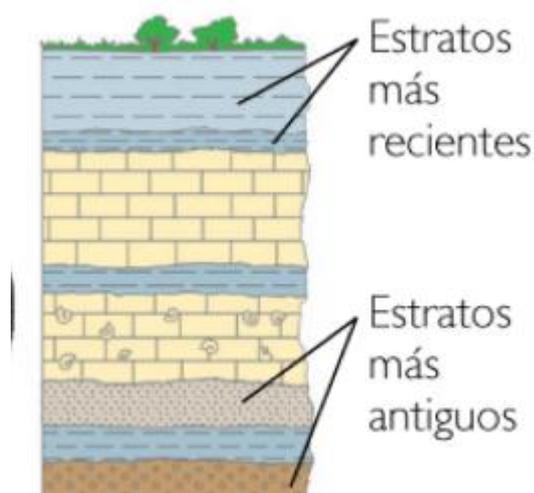
- Identificación de las rocas sedimentarias (litología)
- Delimitación de unidades estratigráficas
- Levantamiento de secciones estratigráficas
- Interpretación genética de las unidades
- Correlación
- Asignación de tiempo (edades)
- Análisis de cuencas sedimentarias

2.3.4 Estrato

El estrato se define como cuerpo generalmente tabular de roca o sedimentos, con litología homogénea o gradacional que se ha depositado durante un intervalo de tiempo determinado; los estratos son horizontales y pueden extenderse en grandes áreas geográficas. Es posible distinguir un estrato de otros superiores e inferiores, así como de los que se encuentren a los lados. De manera convencional, si el estrato mide menos de un centímetro de ancho, se le conoce como lámina. Un estrato se forma por el depósito de sedimento, es decir, de material acarreado por diversos agentes como el agua, el viento o la misma gravedad a lugares más bajos, en donde pueda acumularse. Con el tiempo, el material puede compactarse y litificarse (Agueda, 2004).

(Cuesta, n.d.), menciona que existe el principio de superposición de estratos; este principio se debe a Nicolás Steno (1669) que se dio cuenta que “en una serie estratigráfica, poco o nada deformada, el orden de superposición de las capas es el mismo de su depósito”. Por lo tanto, toda capa superpuesta a otra es más moderna que aquella.

Ilustración 10 Columna estratigráfica del principio de superposición de estratos



Fuente: (Cuesta, n.d.)

2.4 ASPECTOS GEOFÍSICOS

2.4.1 Prospección

Término utilizado para referirse a la búsqueda, exploración y localización de reservorios de agua subterránea con características que a priori resulten apropiadas para una posterior explotación o aprovechamiento del recurso, (Cortez, 2020).

El objetivo primordial en la prospección es que se logren buenos resultados cuando existen contrastes espaciales o temporales marcados de la propiedad investigada; por ejemplo, en la conductividad eléctrica, o en la densidad de las rocas, o en la velocidad con que se propagan las ondas sísmicas, o en distorsiones del campo magnético, etc. También resulta importante señalar que cualquiera sea el método geofísico empleado, su éxito está directamente relacionado al conocimiento, aunque sea general, de las características y el comportamiento geológico del subsuelo, (Cortez, 2020).

2.4.2 Geoeléctrica

Es una ciencia que parte de la rama de la Geofísica y trata sobre el comportamiento de rocas y sedimentos en relación con la corriente eléctrica. Los métodos geoeléctricos más empleados en Hidrogeología se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica conocidos como sondeos eléctricos verticales (SEV) y tomografías geoeléctricas; de menor utilidad son la polarización inducida (PI) y el potencial espontáneo (PE), este último basado en la medición de campos magnéticos naturales, (Cortez, 2020).

2.4.3 Sondeo eléctrico vertical

El sondeo eléctrico vertical (SEV) consiste en un conjunto de determinaciones de la resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivos lineal y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Considerando el dispositivo Schlumberger, los SEVs se pueden clasificar en función de la separación final entre A y B de la siguiente manera:

Tabla 2 Tipo de SEV - dispositivo Schlumberger

Tipo de SEV	Longitud	Principal aplicación
Corto	AB hasta 250 m	Geotecnia y arqueología
Normal	250 m < AB < 2.500 m	Hidrogeología
Largo	2.500 m < AB < 25.000 m	Prospección petrolera
Muy largo	Hasta 1.200 km	Investigación geofísica

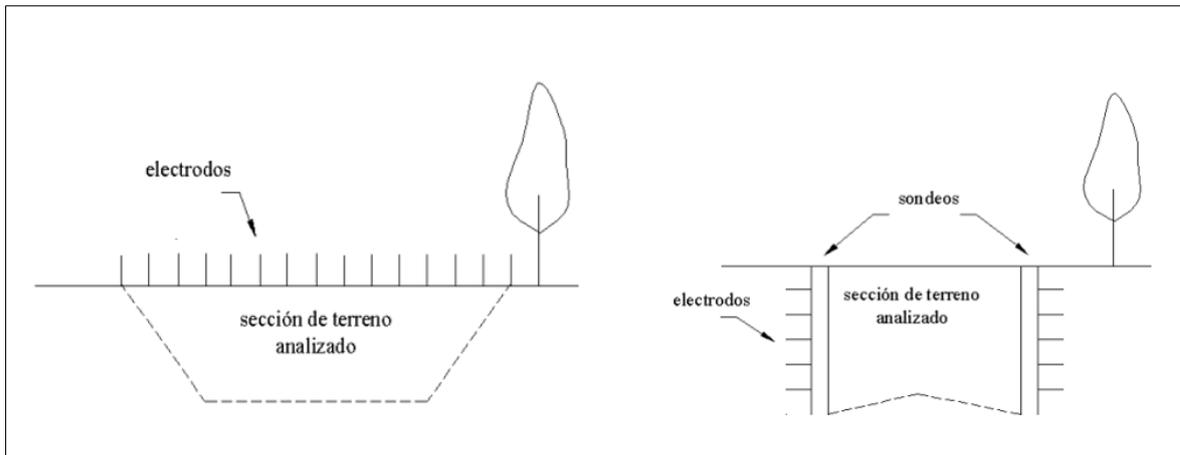
Fuente: (Cortez, 2020).

El objetivo de un SEV es la obtención de un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad, a partir de mediciones realizadas en superficie. La profundidad alcanzada por la corriente aumenta a medida que crece la distancia AB, aunque generalmente no existe una relación de proporcionalidad entre ambas lo menciona, (Cortez, 2020).

2.4.4 Tomografía eléctrica

La Tomografía eléctrica es un método de resistividad multielectrónico, basado en la modelización 2-D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas. Hay que destacar que actualmente se está avanzando en la modelización 3-D. De uso generalizado tanto en Europa como en EE. UU, en la resolución de un amplio abanico de problemas ingenieriles e hidrogeológicos, en España continúa siendo una técnica poco extendida y conocida bajo el nombre genérico de Tomografía eléctrica. No obstante, hay que destacar que se distinguen dos nomenclaturas en función de la disposición de los electrodos en el terreno: “Electrical imaging” en el caso que se dispongan en superficie, o “Electrical tomography” si se hallan en el interior de sondeos verticales. (Serrano, 2003).

Ilustración 11 Esquemas del Electrical imaging y Electrical tomography



Fuente: (Serrano, 2003).

2.4.5 Tomografía eléctrica de resistividad

El estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography o “Electrical Imaging”, es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente, (Lara, 2011).

Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes. Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectródica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio, (Lara, 2011).

Es un procedimiento de medición y cálculo matemático que permite obtener una imagen en dos o tres dimensiones de la distribución de resistividades eléctricas del subsuelo. Esta técnica nace como una extensión o evolución de las prospecciones geoelectricas tradicionales, como es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). En Geofísica, esta distribución de resistividades eléctricas está asociada a distintos tipos de suelos, presencia o ausencia de agua, inclusiones enterradas, y contaminantes presentes en el suelo, (Cortez, 2020).

2.4.6 Resistividad eléctrica

Cuando introducimos corriente eléctrica en el terreno, ésta se puede propagar de tres maneras diferentes a través del subsuelo:

- conducción dieléctrica (asociada a materiales muy poco conductivos o aislantes)
- conducción electrónica (asociada a materiales con electrones libres, i.e. los metales)

- conducción electrolítica (asociada al movimiento de los iones presentes en el fluido intersticial del terreno).

La conducción electrolítica es el modo de propagación más importante, y en el que se basa los métodos de resistividad. (Serrano, 2003)

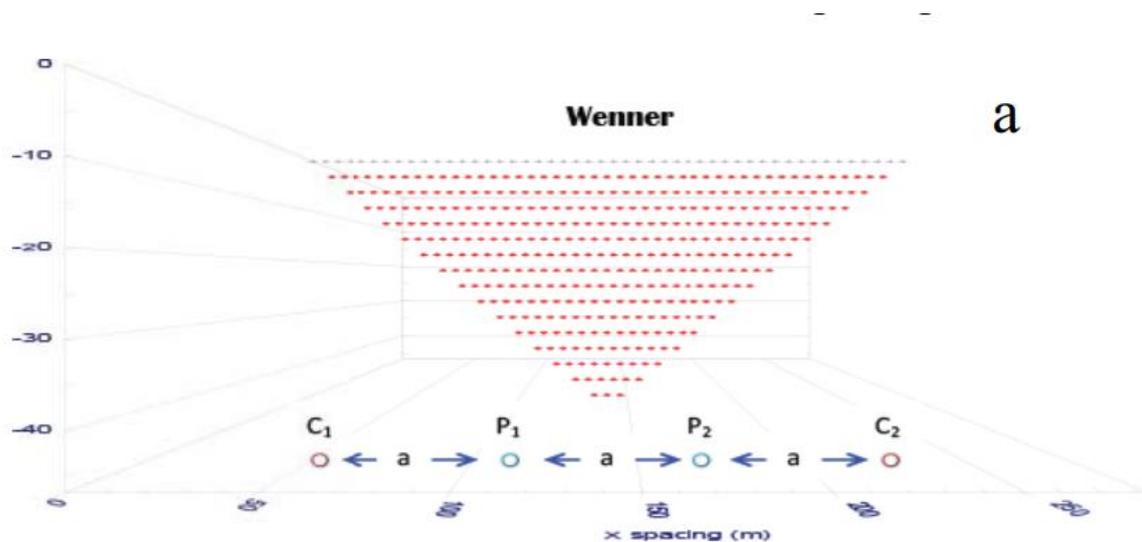
2.4.7 Configuraciones de la tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

Existen diferentes configuraciones posibles que ofrece la tomografía de resistividad eléctrica (TRE), como son: Wenner, Wenner-Schlumberger y Dipolo-Dipolo, por sus diferentes características y cuyo común denominador es el espaciamiento entre electrodos. En función del espaciado entre electrodos puede establecerse un compromiso entre profundidad de investigación y resolución. A mayor espaciado de electrodos, la profundidad alcanzada es mayor, pero la resolución disminuye (Lara, 2011).

- **Wenner**

El arreglo Wenner “normal” o también llamado Wenner alpha, fue utilizado por primera vez por el grupo pionero de investigación de la Universidad de Birmingham. Los electrodos se mantienen equidistantes, con una longitud de dipolo de “a”, se mueven sobre una línea con la disposición de C1-P1-P2-C2, aumentando el espaciamiento “n x a”, donde “n” es el factor de separación del dipolo o comúnmente llamado nivel de estudio. Es apropiado para resolver cambios verticales, es decir, en estructuras horizontales la profundidad media de investigación es aproximadamente 0.5 veces el espaciamiento “a”, (Lara, 2011).

Ilustración 12 Arreglo Wenner

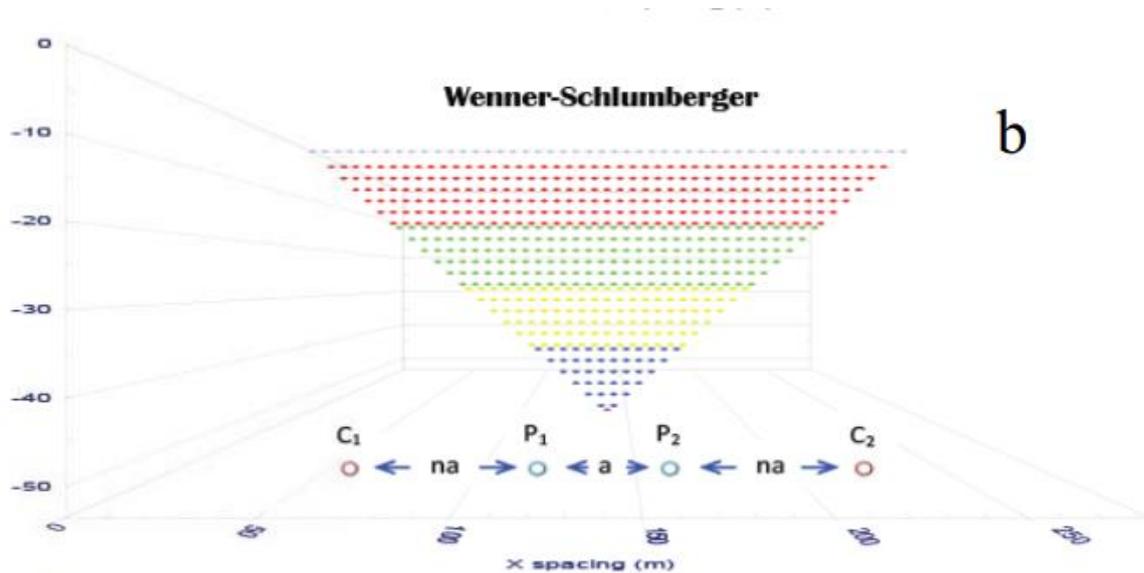


Fuente: (Lara, 2011).

- **Wenner-Schlumberger**

(Lara, 2011), menciona que es el nuevo híbrido entre los arreglos Wenner y Schlumberger. La disposición de los electrodos es la misma que en el arreglo Wenner, con la diferencia de que el factor “n” para este arreglo es la relación de distancia entre C1-P1 (o P2-C2). Utilizado moderadamente para estructuras horizontales, la intensidad de la señal es aproximadamente, inversamente proporcional al cuadro del factor “n”, la profundidad media de investigación es aproximadamente 10% más profunda que el Wenner.

Ilustración 13 Arreglo Wenner-Schlumberger

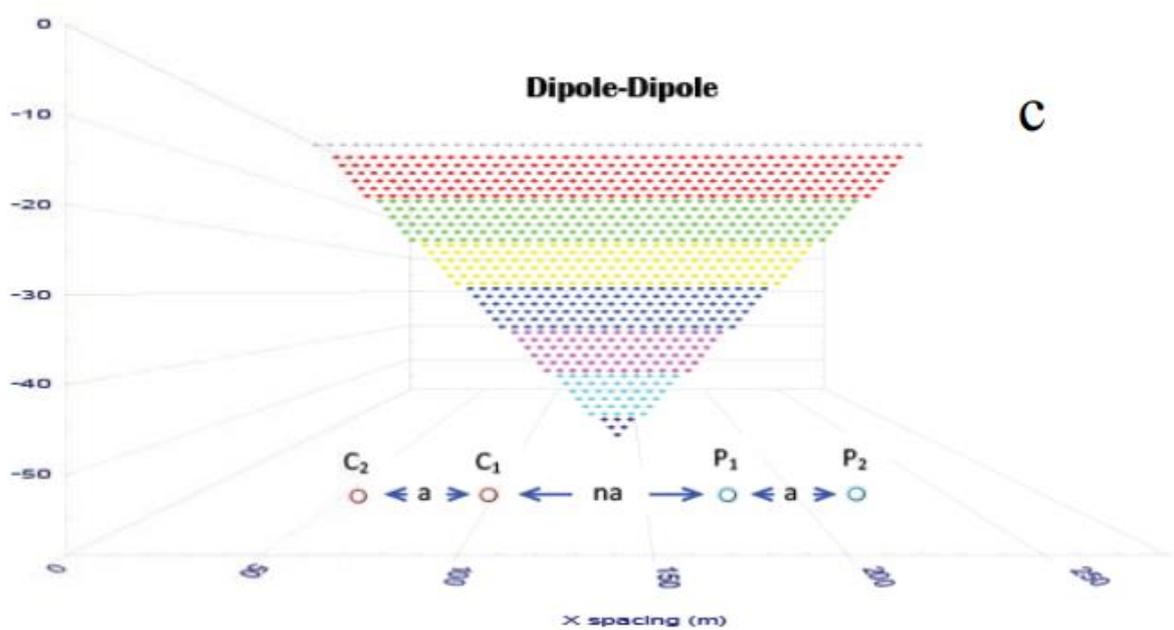


Fuente: (Lara, 2011).

- **Dipolo- Dipolo**

El arreglo dipolo – dipolo fue creado por Al’pin en el año de 1966 y ha sido usado en estudios de resistividad y de Polarización Inducida (IP), gracias al bajo acoplamiento entre los circuitos de corriente y potencial. La geometría es C2-C1-P1 -P2, en principio la distancia es equidistante entre los electrodos “a”, pero incrementa en “n x a” en C2-C1 y P1 -P2. Es altamente sensitivo a los cambios horizontales, tiene una baja intensidad de señal para valores del factor “n” y la profundidad media de investigación depende del espaciamiento “a” y el factor “n”, (Lara, 2011).

Ilustración 14 Arreglo Dipolo- Dipolo



Fuente: (Lara, 2011).

2.4.8 Factores que afectan la resistividad

La resistividad eléctrica es un parámetro que varía en función de las características del terreno. Algunos de los factores que lo influyen son:

- El grado de saturación del terreno.
- La temperatura.
- Porosidad y la forma de los poros.
- La salinidad del fluido.
- El tipo de roca.
- Los procesos geológicos que afectan a los materiales.
- La presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico.

Es precisamente esta estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, lo que permite el utilizar estos métodos de resistividad en la búsqueda de focos de filtración de agua en el subsuelo; es así como, se incrementa el contenido en agua del terreno lo que provocan ciertas disminuciones de la resistividad, (Serrano, 2003).

En lo que concierne a los otros factores, destacar que la salinidad del fluido, la porosidad del terreno, y la temperatura (si bien éste es un factor poco importante), presentan un comportamiento análogo al del grado de humedad. Un caso curioso es el de la sal, ya que

ésta se comporta como un excelente aislante en estado seco, mientras que en disolución confiere al terreno una alta conductividad, (Serrano, 2003).

2.5 ASPECTOS DEL TRABAJO EN CAMPO

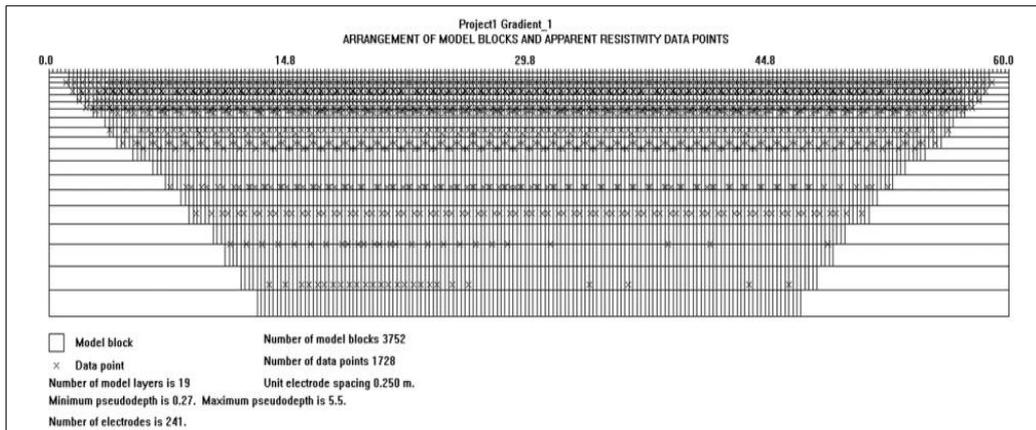
2.5.1 Ejecución de trabajo en campo

Sobre el terreno, se señala el perfil mediante cinta métrica y se clavan los electrodos según la distancia elegida. Se conectan los electrodos con los cables, la batería y se comienza la toma de datos. La unidad de medida será la encargada de ejecutar de forma automática todas las secuencias de observaciones según el protocolo elegido. Además, es importante asignar coordenadas a una serie de puntos del perfil, normalmente mediante observaciones GPS. También durante el proceso de medida, se toman fotos y notas sobre la zona a estudiar, anotando cualquier posible incidencia, (De Tena et al., 2020).

2.5.2 Procesamiento de datos

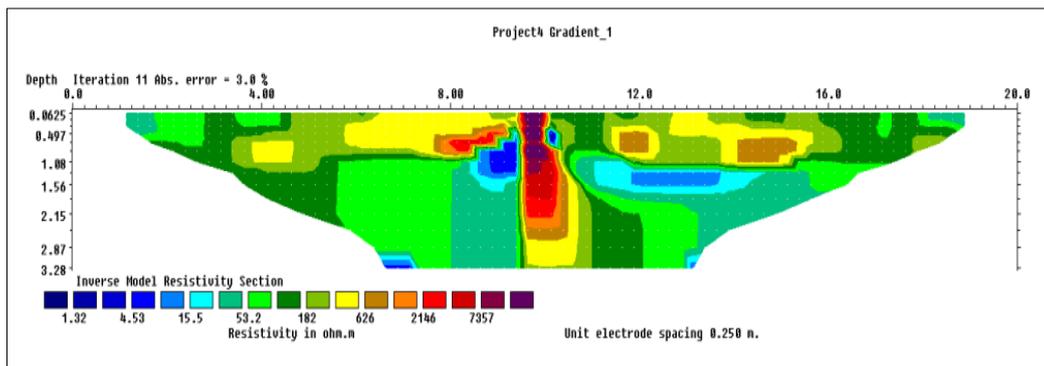
(De Tena et al., 2020), menciona que el procesado de los datos consiste en resolver el problema inverso, es decir, en obtener un modelo de distribución de las resistividades reales del subsuelo a partir de los valores de resistividad aparente. Para ello, se dispone de las aplicaciones Res2dinv y Res3dinv de Geotomo Software para estudios 2D y 3D respectivamente. Estos programas se basan en un ajuste mediante el método de diferencias finitas, consistente en una división del subsuelo en celdas con un valor inicial de la resistividad real, a continuación, obtiene para cada celda un valor de la resistividad aparente y compara con los valores observados. De manera iterativa se van ajustando los valores de resistividad de cada celda hasta conseguir un error mínimo. La inversión se puede realizar añadiendo la topografía.

Ilustración 15 Ejemplo de división en celdas para la inversión numérica



Fuente: (De Tena et al., 2020).

Ilustración 16 Ejemplo de distribución de resistividades reales tras la inversión



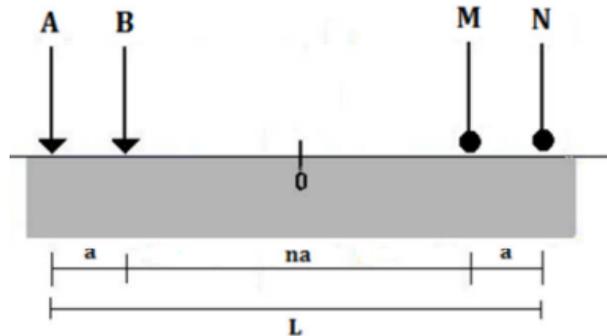
Fuente: (De Tena et al., 2020).

2.5.3 Configuración del método dipolo-dipolo

Este método es ampliamente usado por el bajo acoplamiento entre la corriente y los circuitos potenciales. El arreglo Dipolo-Dipolo presenta una alta resolución para los contrastes laterales de resistividad, tiene una resolución mayor en niveles cercanos a la superficie y es el arreglo que presenta un mayor número de mediciones, por lo tanto, es bueno para encontrar estructuras verticales tales como cavidades, pero relativamente pobre para encontrar estructuras horizontales tales como diques o capas sedimentarias, (R. Sánchez, 2011).

Su disposición es la siguiente:

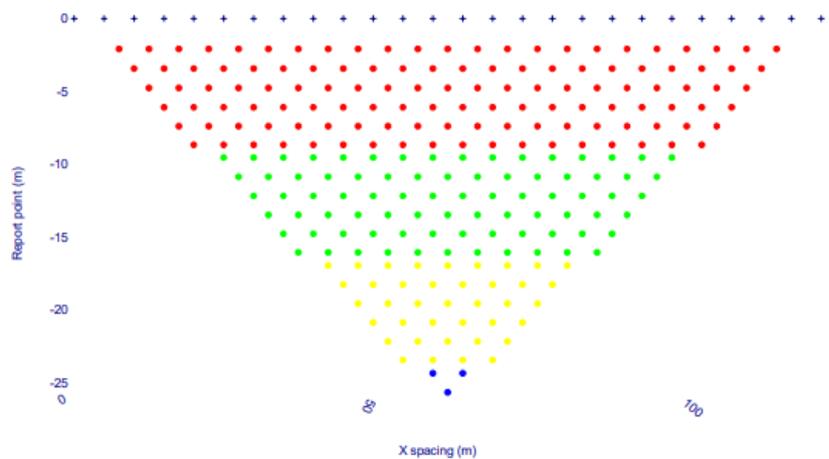
Ilustración 17 Disposición de los electrodos en el arreglo Dipolo-Dipolo



Fuente: (R. Sánchez, 2011).

En la **ilustración 18** se muestra el alcance aproximado del arreglo Dipolo-Dipolo en el subsuelo, es decir, los niveles de profundidad alcanzados.

Ilustración 18 Diagrama de puntos de adquisición para el arreglo Dipolo – Dipolo



Fuente: (R. Sánchez, 2011).

2.5.4 Software res 2DINV

Para realizar la inversión de datos de las tomografías eléctricas de resistividad (TRE) se emplea el software RES2DINV el cual está diseñado para interpolar e interpretar datos de campo de prospección geofísica tanto la conductividad y polarización inducida. La inversión de los datos de resistividad se realiza mediante el método de mínimos cuadrados que involucra métodos de elementos y diferencias finitos, (Pérez, 2019).

Una vez concluido con la toma de datos, el procesamiento por el programa Res2Dinv, un software de inversión que permite producir un modelo en 2 dimensiones del subsuelo a partir de los datos de resistividad aparente obtenidos en campo este software puede manejar

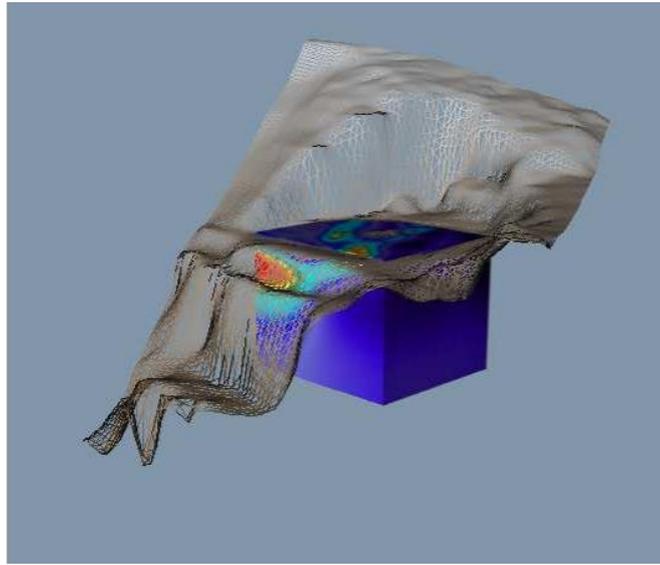
datos de cualquier conjunto de electrodos, incluido el arreglo dipolo-dipolo. Interpola datos de estudios terrestres, submarinos y a través de pozos. Fácil conversión de datos de los instrumentos geofísicos más populares, incluidos ABEM Lund, Syscal, AGI, PASI, IRIS, SCITREX, etc. (Hernández, 2019).

2.5.5 Software voxler 3D

(Carrasco, 2011), menciona en su tesis que el software voxler es un programa de gran alcance, rápido, con imágenes personalizadas en 3D de datos. Además, importa fácilmente datos en una multitud de formatos de archivo para crear impresionantes gráficos para explorar las relaciones en un conjunto de datos. Este programa es fácil de usar para mostrar los datos en una variedad de formatos y colores. Voxler toma los datos en bruto, complejos y los modela en un rico entorno interactivo y visual 3D. La versión actualizada permite visualizar rápidamente y examinar datos. Se Pueden filtrar anomalías, duplicados, o áreas que se desean eliminar. Interactivamente permite manipular los datos al mismo tiempo que verse los resultados. Las características incluyen:

- Isosuperficies
- los volúmenes prestados
- contornos, campos de altura
- líneas de flujo
- diagramas de vectores, diagramas de dispersión
- las imágenes orto y oblicua
- aviones clip, anotaciones y texto
- los ejes, la caja, grillado 3D
- operaciones de cálculo, añadiendo luz a una escena
- importación / exportación de varios formatos de archivos
- automatización, captura de vídeo, y mucho más

Ilustración 19 Ejemplo de representación del software voxler



Fuente: (Carrasco, 2011).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 MÉTODO DE CAMPO

3.1.1 Configuración de equipo

La ejecución de este trabajo en campo se llevó a cabo mediante el equipo SYSCAL-PRO de IRIS INSTRUMENTS y los datos se descargan del equipo Syscal en un archivo bin y mediante el software Prosys II de IRIS INSTRUMENTS se pueden visualizar los datos en un archivo de texto. El archivo contiene el nombre del arreglo, coordenadas de cada uno de los electrodos en cada de medición, resistividad aparente, desviación estándar, voltaje medido, corriente inyectada y tiempo de inyección de corriente. Una vez generado el archivo de texto, se realizó el archivo *.urf* (Universal Resistivity Files), necesario para poder procesar los datos con el software EarthImager 3D. Para llevar a cabo la inversión de los datos, además del archivo *.urf*, se requiere un archivo de texto que contenga la topografía de cada punto medido. El archivo de la topografía consta de 3 columnas para las diferentes coordenadas 'x', 'y', y 'z' (altura), (V. Sánchez, 2013).

Ilustración 20 Equipo SYSCAL-PRO



Fuente: Autor.

3.1.2 Adquisición y procesamiento de datos

Para la adquisición de los datos de resistividad se utilizó el equipo de Resistividad/IP Syscal Pro de marca Iris Instruments y sus respectivos accesorios como cables multipolar, electrodos, combos, etc.

Ilustración 21 Montaje del equipo de Resistividad en campo



Fuente: Autor

Durante la adquisición de datos, en cada inducción de corriente se realizó las lecturas de diferencia de potencial entre los valores obtenidos en estaciones que se ubican posteriores a otros puntos de emisión; en todo momento, mediante la unidad central se verificó que todas las conexiones funcionen correctamente, y que la resistividad entre electrodo-suelo sea lo suficientemente baja, para garantizar buenos registros. Así mismo, se realiza un testeo de la respuesta del suelo y se evalúa con que voltaje se obtendrá datos confiables del suelo.

Ilustración 22 Verificación electrodo – suelo



Fuente: Autor

Ilustración 23 Testeo de respuesta del suelo



Fuente: Autor

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Tipo de investigación

Para llevar a cabo este trabajo, se realizó una investigación de campo con un enfoque mixto, ya que consta de la recolección de datos nuevos para el estudio hidrogeológico del sector Rumicruz mediante tomografías eléctricas de resistividad y recopilación de información de la población del sector, en donde se tomaron datos de carácter cualitativo y cuantitativos; además que la investigación de campo es un proceso que utiliza el método científico, y permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la realidad social como una investigación pura, o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos es decir una investigación aplicada, (Graterol, n.d.).

Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se realizó en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del investigador, (Graterol, n.d.).

3.2.2 Técnica de recolección de datos

Para llevar a cabo una recopilación de información de la población del sector, en donde se tomaron datos de carácter cualitativo y cuantitativos se empleó uno de los tipos de diseño de la investigación de campo que es la encuesta, herramienta que ayuda a obtener información detallada sobre lo que la comunidad piensa acerca de la disponibilidad del recurso hídrico, tanto su obtención, tratamiento, distribución y conservación del agua para

su comunidad. Además (Casas et al., 2003) , mencionan que la encuesta se puede definir como una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características.

3.2.3 Población y muestra

Para determinar la población y la muestra se necesita especificar, en primer lugar, qué o quienes van a ser medidos o analizados, es decir, quienes son los objetos de estudio, en este caso los sujetos de estudio son los moradores de la comunidad de Rumicruz.

(Camacho, n.d.), menciona que la fórmula de probabilidad estadística los siguientes datos:

N = Población o Universo, conjunto de elementos.

n = Tamaño de la muestra, subconjunto de la población.

P = Proporción de la población en la cual se estima, que existe una adecuada presencia, de las variables en estudio, equivalente al 50%.

Q = Proporción de la población en la cual se estima que existe una inadecuada presencia de las variables, equivalente al otro 50%.

E = Error que se acepta para las muestras, el cual se ha fijado entre el 3%. Y el 5%.

Ilustración 24 Fórmula de probabilidad estadística

$$n = \frac{N(P \times Q)}{N(E)^2 + (P \times Q)}$$

Fuente: (Camacho, n.d.).

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ZONA DE ESTUDIO

4.1.1 Descripción de la zona de estudio

La comunidad de Rumicruz se localiza en la parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, en 1981, el estado ecuatoriano declaró a Rumicruz como comunidad jurídica. El nombre de la comunidad fue asignado en virtud de la existencia de una piedra en forma de cruz andina que tiene una altura de 1.70 metros, que está situada a trescientos metros del centro comunal y que sirve de demarcación limítrofe entre los cantones Riobamba y Guano, (Mesache, 2018).

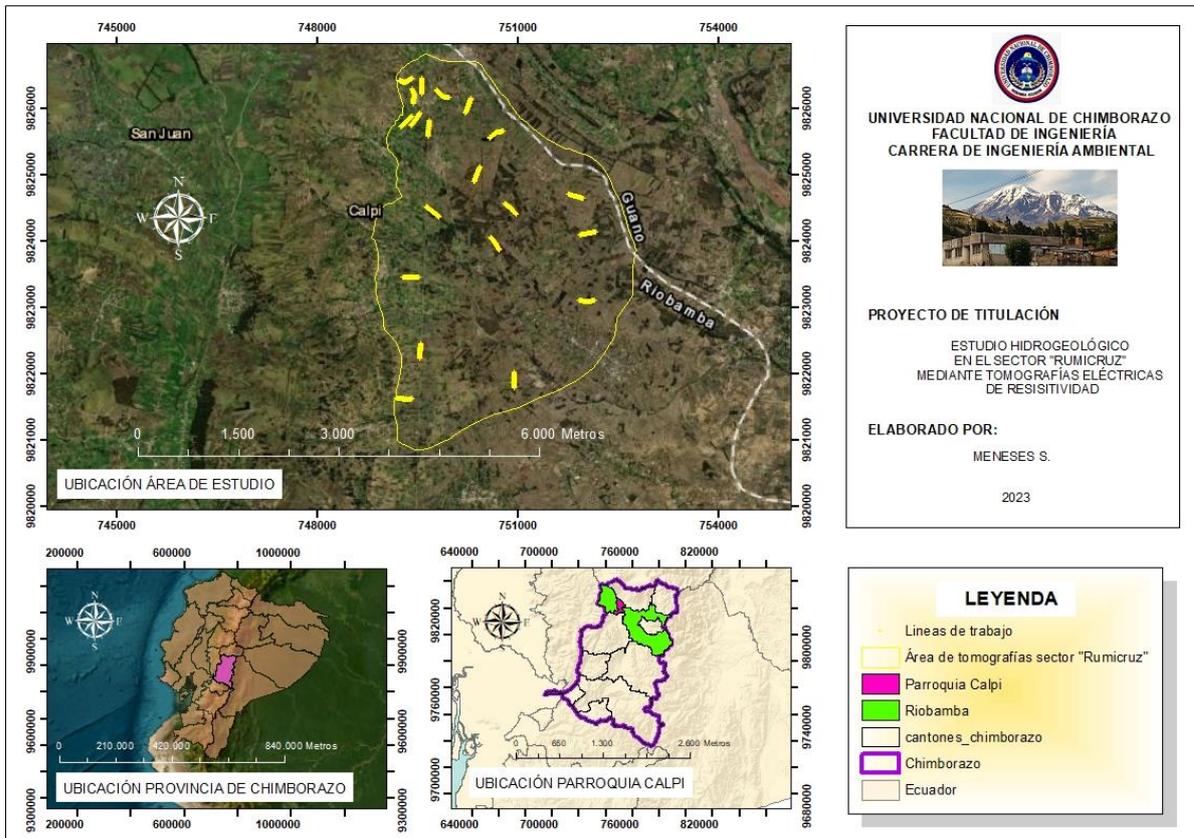
Ilustración 25 Piedra andina en forma de cruz



Fuente: (Mesache, 2018).

Rumicruz limita al norte con el cantón San Andrés, al sur con la comunidad La Moya, al este la comunidad Jatary Campesino y al oeste Calpi.

Ilustración 26 Mapa de ubicación de la zona de estudio



Fuente: Autor.

Sus habitantes conformados por indígenas hablan el idioma quichua y español para mantener sus relaciones de comercio tanto agrícolas como ganaderas con la sociedad mestiza y convirtiendo se de esta manera en sus únicas fuentes de ingresos económicos para sus familias, (Mesache, 2018).

Ilustración 27 Sector Rumicruz



Fuente: Autor.

4.1.2 Definición de las líneas de trabajo

La mayor preocupación en los habitantes de Rumicruz y sus dirigentes ha sido la posibilidad de contar con el servicio de agua potable en todas las casas.

Pese a los trabajos de excavación de las fuentes, el mejoramiento de la infraestructura de captación, el cambio de tuberías, y las instalaciones nuevas, Rumicruz no tiene agua suficiente. Con el propósito de tener agua, han realizado excavaciones en su mismo territorio, pero sin encontrar una gota del líquido vital. «Por el agua nos sentimos comprometidos con La Moya, no podemos salir adelante. ¡Cuánto hemos hecho! Excavamos la montaña y la quebrada de Taba wayku y en Kushitolo, pero sin ningún resultado mencionan los moradores de la comunidad (Tuaza, 2018).

Los trabajos en los lugares antes mencionados casi siempre se han repetido, porque los técnicos que visitan el lugar aseguran que en efecto no hay agua. La preocupación por el líquido vital ha mantenido unidos a los dirigentes y a los miembros de la comunidad, y ha permitido encontrar otras oportunidades, aunque no mejore el servicio de agua potable, tal como demuestra el siguiente testimonio: «un día estuvimos excavando en Kushitolo, cuando, de pronto, vino el deslave y tapó a Nicolás Lata. Estando, pasando por el camino don Agustín Guamunshi, dirigente de Tunsalao dijo: ‘no sean tontos. Aquí no hay agua. ¿Por qué no se unen a nosotros para trabajar juntos el proyecto MesarumD’?, y así nos animamos a formar parte de las comunas que querían traer el agua desde las faldas del Chimborazo» (Tuaza, 2018).

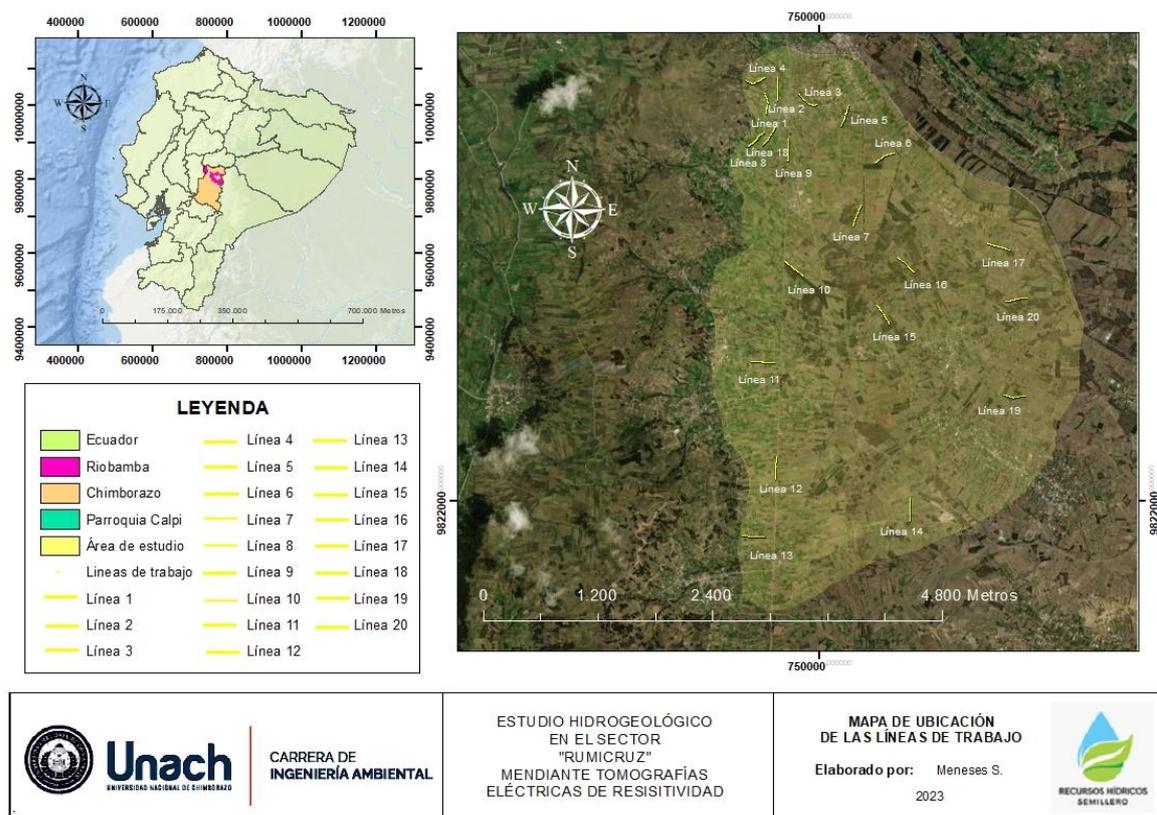
Con la oferta recibida de Agustín Guamunshi y más tarde de Enrique Guzmán, dirigentes del Proyecto Mesarumi, que buscaba explotar las fuentes de agua a 18 kilómetros de distancia desde Rumicruz para el beneficio de las comunidades Tunsalao, San Vicente de Luisa, San José de Guasbiy Guashi Chico, Víctor Sanunga organizó a la población para adherirse a este proyecto. Meses más tarde fue nombrado secretario del directorio del agua. Motivado por los contactos que tenía en el Ministerio de Agricultura y en las organizaciones de cooperación, logró conseguir en 1992 el financiamiento de Catholic Relief Services (CRS), una agencia de cooperación de la Conferencia de los Obispos Católicos de los Estados Unidos, y el Fondo Ecuatoriano Canadiense de Desarrollo (FECD), que durante la década de los noventa impulsó en Calpi y sus comunidades los proyectos de mejoramiento del riego, la forestación, la producción agropecuaria, la capacitación en liderazgo, la creación de cajas de ahorro y crédito comunitario, y el establecimientos de puestos de primeros auxilios, (Tuaza, 2018) .

Con la cooperación técnica y financiera de CRS y el FECD, Rumicruz, Tunsalao, San José de Gaushi, San Vicente de Luisa y Gaushi Chico, en 1996 llegaron a tener el agua de riego, luego de diez años de trabajo. A diferencia de otros proyectos de desarrollo que también sufrieron fracaso, el riego continúa funcionando. En estos últimos años, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo ha promovido los trabajos de mejoramiento del sistema de riego, construyendo en Rumicruz el reservorio de agua que permite contar con regadío durante todo el día y en tiempos de sequía.

(Tuaza, 2018), menciona que pese al mejoramiento en el sistema de riego el recurso hídrico en la comunidad sigue siendo una necesidad imperiosa en Rumicruz. No obstante, el poco interés de los moradores no ha permitido que el sueño de tener agua completamente funcional sea una realidad. Hasta nuestros días los dirigentes trabajan por superar este problema, pero hay escaso interés de los beneficiarios.

Razón por la cual se establecieron 20 líneas de trabajo en el sector de Rumicruz, como puntos estratégicos para la realización de las respectivas tomografías eléctricas de resistividad.

Ilustración 28 Mapa de ubicación de las líneas de trabajo



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO
EN EL SECTOR
"RUMICRUZ"
MEDIANTE TOMOGRAFÍAS
ELÉCTRICAS DE RESISTIVIDAD

MAPA DE UBICACIÓN
DE LAS LÍNEAS DE TRABAJO
Elaborado por: Meneses S.
2023



CARRERA DE
INGENIERÍA AMBIENTAL



Fuente: Autor.

4.2 TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

4.2.1 Resultados de las tomografías eléctricas

Los valores de resistividad generados en campo mediante la aplicación de las tomografías eléctricas de resistividad estarán determinados por su composición mineralógica, al igual que por su contenido de agua y las características de esta es decir que más salinidad implica mayor conductividad. Todo esto hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una amplia variabilidad, (Arias, 2011).

El suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo. Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. En la tabla 3 se encuentra un conjunto de valores típicos de resistividad de geomateriales, (Arias, 2011).

Tabla 3 Valores típicos de resistividad

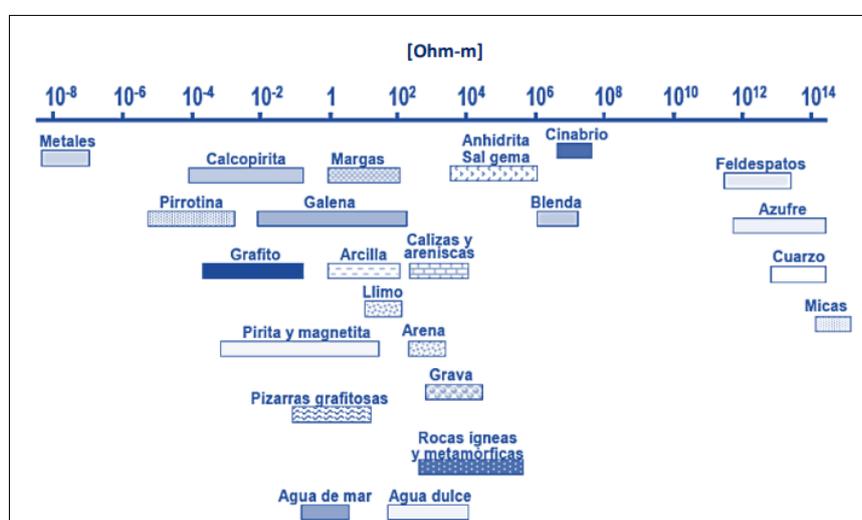
Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10

Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

Fuente: (Arias, 2011).

Todo material opone cierta resistencia al flujo de la corriente eléctrica. En geofísica a esta propiedad se le atribuye el nombre de resistividad, la cual nos permite diferenciar entre distintos materiales en el subsuelo. Así mismo es posible definir la conductividad o como la inversa de la resistividad y, por tanto, como facilidad de la corriente eléctrica al atravesar el material, (López, 2020).

Ilustración 29 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales



Fuente: (López, 2020).

En la tabla 4, se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas y ella será utilizada para la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 4 Valores de resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas

Material	Resistividad (ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$
Yeso	$10^4 - 10^6$
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$
Caliza	$50 - 4 \times 10^2$

Arcilla	1 - 100
Aluvión	10 – 800
Agua dulce	10 – 100
Agua de mar	0.2

Fuente: (Bernal & Rosado, 2019).

4.2.2 Análisis e interpretación de las tomografías

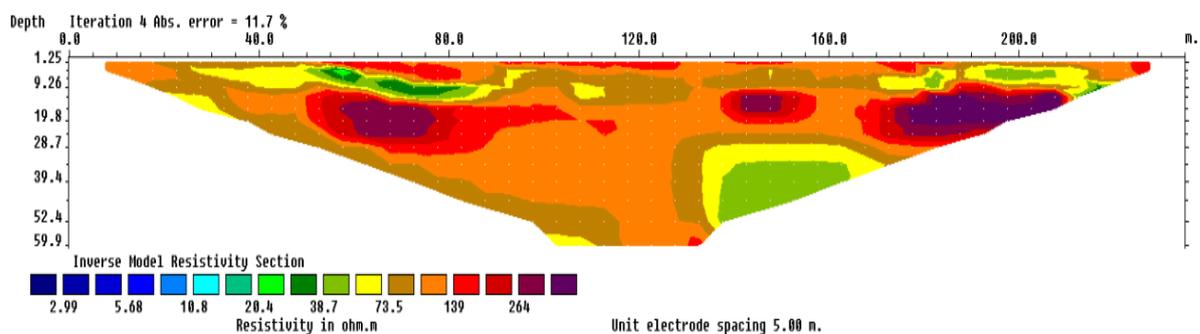
Para realizar el análisis y la interpretación de información obtenida, se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen al momento de caracterizar los suelos como el grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales; es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado en una disminución en los valores de resistividad.

Análisis e Interpretación de la primera tomografía eléctrica.

La primera tomografía eléctrica presentó resistividades de 2.99 a 264 Ohm*m (Ilustración 30) por lo cual se evidencia la variabilidad de materiales que existen en la zona estudiada.

Por esta razón el rango 28.4 Ohm*m a 73.5 Ohm*m se encuentra una capa semipermeable la cual podemos denotar de con una coloración amarilla y verde, los estratos altos se encuentran a una profundidad de 1m a 15m y así también como en la parte baja a los 30m a 60m; a partir de la resistividad 139 Ohm*m muestra una gama de colores diferentes como son el color rojo hasta la coloración lila, estos son suelos impermeables o formaciones de roca.

Ilustración 30 Tomografía 1

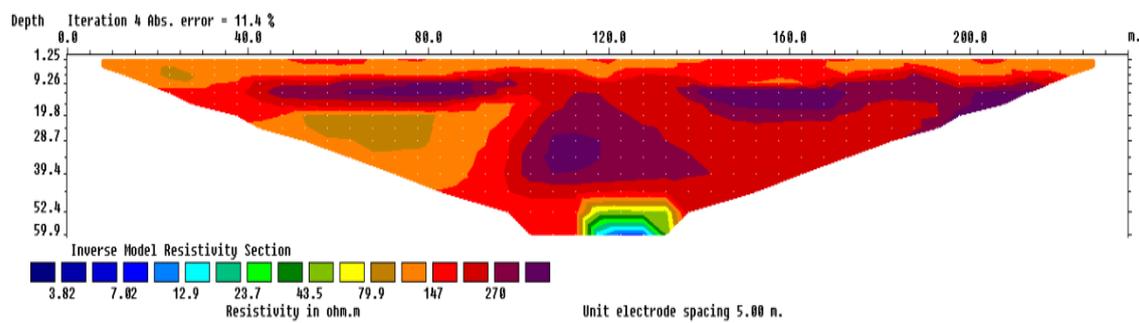


Fuente: Autor.

Análisis e Interpretación de la segunda tomografía eléctrica.

La segunda tomografía eléctrica de resistividad obtuvo un rango de resistividad entre 3.82 a 270 Ohm*m, en el rango de 3.82 a 19.9 Ohm*m se observa una coloración azul lo que nos indica la presencia de una masa de agua subterránea la cual se encuentra a los 60m o mayor profundidad como se puede ver en la (Ilustración 31), a partir de los 29.7 Ohm*m se reconoce diferentes perfiles subterráneos los cuales comprenden capas semi permeables del suelo las cuales recubren la masa de agua subterráneas, finalmente a partir de 79.9 Ohm*m se observa diferentes conglomerados, los cuales tienen una gama de color rojiza hasta el color lila, que se encuentra con mayor presencia en casi toda la ilustración.

Ilustración 31 Tomografía 2

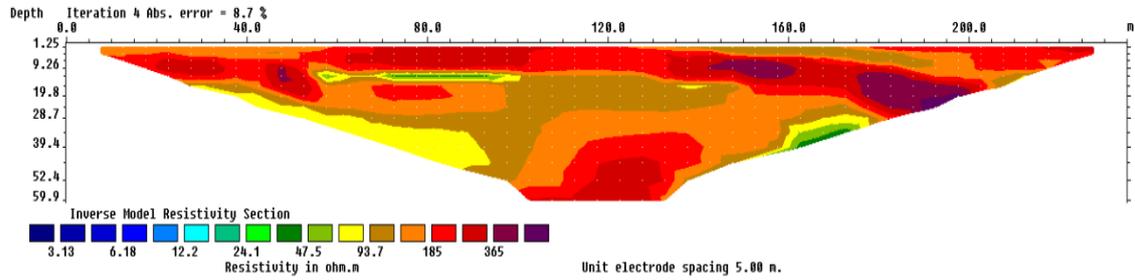


Fuente: Autor.

Análisis e Interpretación de la tercera tomografía eléctrica.

La tercera tomografía de resistividad eléctrica arrojó datos de resistividad entre 3.13 a 365 Ohm*m, se puede observar en la (Ilustración 32) que predomina las zonas de coloración roja hasta la lila, por lo que se puede apreciar que son zonas impermeables que sus rangos de resistividad varia desde 93.7 a 345 Ohm*m, mientras que, en la parte media de la tomografía, podemos encontrar zonas semipermeables las cuales están dadas en un rango de 24.1 a 93.7 Ohm*m.

Ilustración 32 Tomografía 3

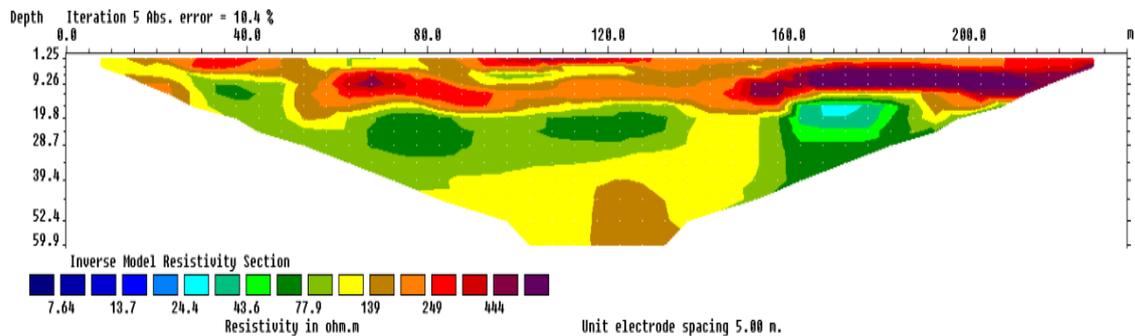


Fuente: Autor.

Analisis e Interpretación de la cuarta tomografía eléctrica.

La cuarta tomografía eléctrica de resistividad, arrojo resistividades entre 7.64 a 444 Ohm*m como se observa en la (Ilustración 33); con resistividad de entre 139 a 444 Ohm*m comprende suelos impermeables que predominan en la parte más alta de la ilustración, sin embargo, en el rango de resistividad de entre 24.4 a 77.9 Ohm*m se observa una capa de suelo semipermeable que predomina en la imagen desde los 20m hasta los 60m.

Ilustración 33 Tomografía 4



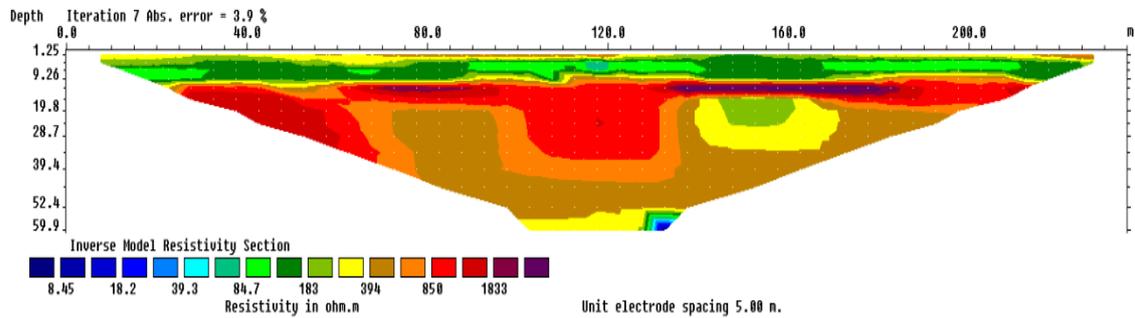
Fuente: Autor

Analisis e Interpretación de la quinta tomografía eléctrica.

La quinta tomografía de resistividad eléctrica (Ilustración 34) presenta un rango de resistividad entre 8.45 a 1833 Ohm*m, con esto valores se constata la presencia de diferentes estratos de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de 8.45 a 39.3 Ohm*m tiende a una gama de color azul a celeste, con esto podemos evidenciar la presencia de una masa de agua concentrada en la parte más baja de la ilustración.

Ilustración 34 Tomografía 5

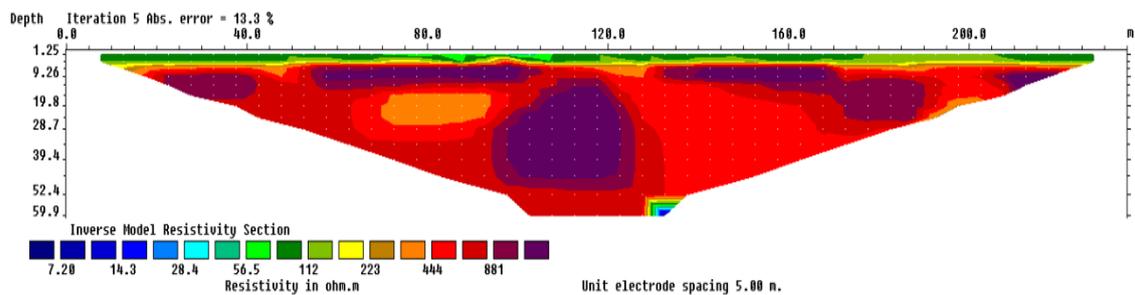


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la sexta tomografía eléctrica.

La sexta tomografía de resistividad eléctrica (Ilustración 35) se observa un rango de resistividad de 7.28 a 881 Ohm*m, en casi toda la ilustración podemos evidenciar capas impermeables las cuales son de coloración rojo hasta lila, las cuales tienen un rango de resistividad de 233 a 881 Ohm*m, por el contrario, a la profundidad de 60m podemos evidenciar una pequeña masa de agua con una resistividad de 7.28 a 14.3 Ohm*m.

Ilustración 35 Tomografía 6

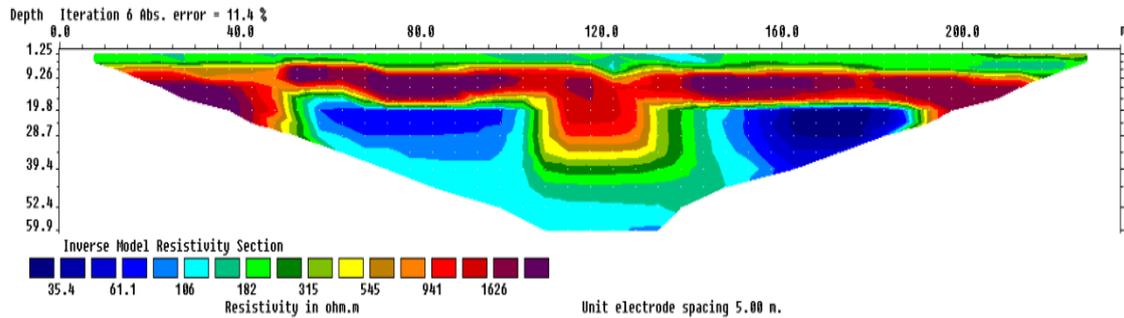


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la séptima tomografía eléctrica.

La séptima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 36) muestra un rango entre 9.77 a 18.9 Ohm*m, donde se observa los diferentes perfiles o zonas del subsuelo. Dentro del rango de resistividad de 35.4 a 106 Ohm*m toma una coloración azul a celeste lo que muestra una zona permeable que se encuentra en los rangos de profundidad desde los 20m a 60m, mientras que en la parte alta desde los 5m a 20m encuentra suelos impermeables que no permiten la recarga hídrica en la zona.

Ilustración 36 Tomografía 7



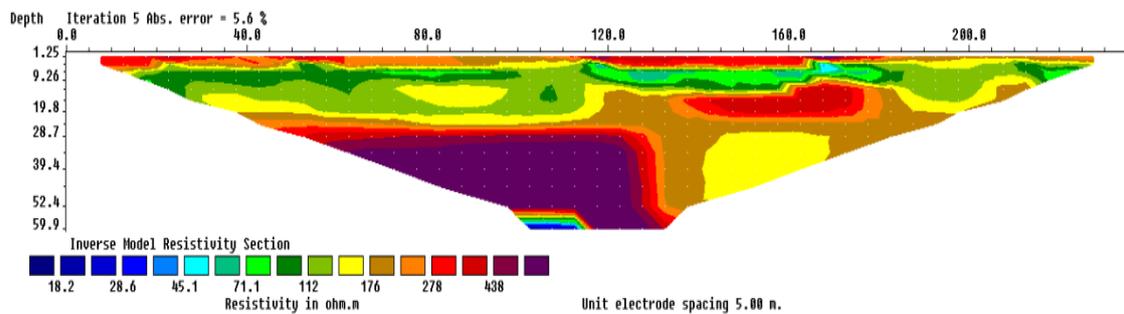
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la octava tomografía eléctrica.

La octava tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 37) muestra un rango de resistividad entre 18.2 a 438 Ohm*m.

Como se puede visualizar el rango de 176 a 438 Ohm*m se observa zonas impermeables las cuales predominan en la ilustración, esta zona recubre el manto freático el cual se encuentra a una profundidad de 60m con una resistividad de 18.2 a 28.6 Ohm*m.

Ilustración 37 Tomografía 8

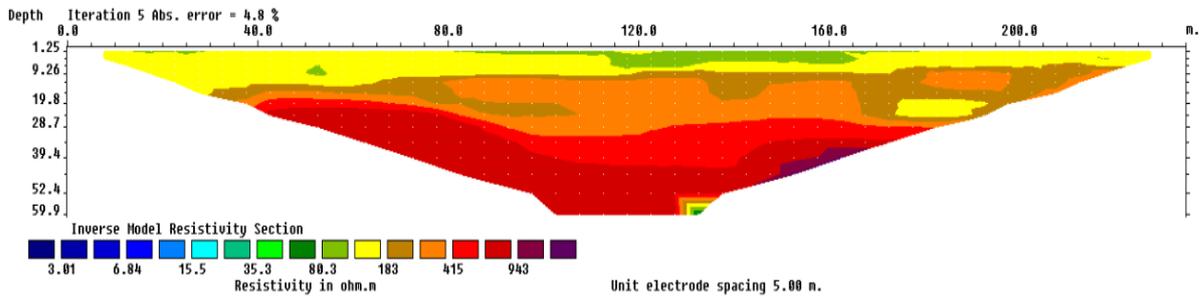


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la novena tomografía eléctrica.

La novena tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 38) muestra datos de resistividad de entre 3.01 a 943 Ohm*m, en los cuales se aprecia dos perfiles fuertemente diferenciados. En el rango de 35.3 a 183 Ohm*m de resistividad, se encuentra zonas semipermeables por las mismas características físicas que se observó al momento de trabajo de campo, la segunda capa se encuentra desde una profundidad desde los 10m hasta los 60m con un rango de resistividad entre 183 a 943 Ohm*m.

Ilustración 38 Tomografía 9



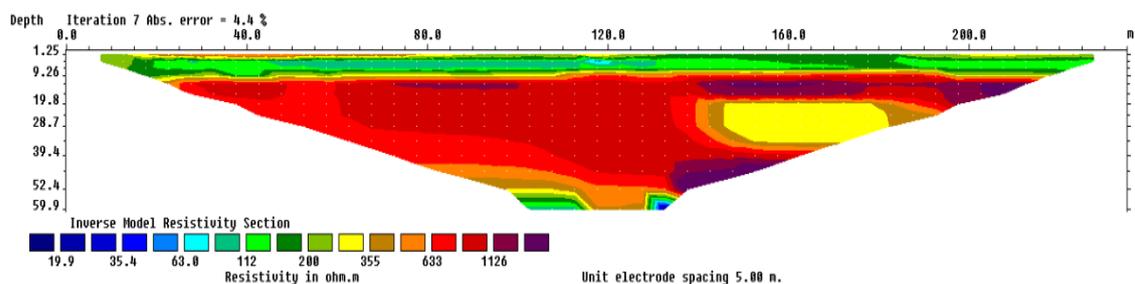
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima tomografía eléctrica.

La décima tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 39) muestra datos de resistividad entre 19.9 a 1126 Ohm*m en los cuales se observa diferentes perfiles o estratos internos de la zona de estudio.

En el rango de resistividad de entre 19.9 a 63.8 Ohm*m muestra una pequeña zona que contienen masas de agua interna la cual se encuentra a una profundidad de 60m, seguido de una capa semipermeable la cual se encuentra en los primeros 10m de profundidad esta tiene una resistividad entre 63.8 a 288 Ohm*m, la cual podemos identificar con una coloración verde, finalmente en la mayor parte de la imagen contamos con zonas impermeables con resistividades entre 355 a 1126 Ohm*m.

Ilustración 39 Tomografía 10



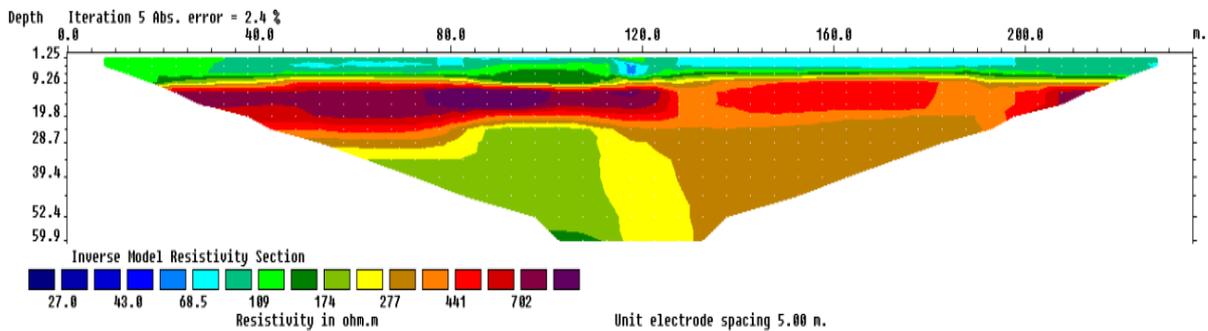
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima primera tomografía eléctrica.

En la décima primera tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 40) muestra datos de resistividad entre 27.0 a 782 Ohm*m. Esta ilustración nos muestra una gama de colores en los estratos inferiores, pues en los primeros 10m podemos observar capas

semipermeables con un rango de 68.5 a 174 Ohm*m de resistividad, entre los 10m hasta los 30m se observa materiales impermeables con resistividad entre 277 a 782 Ohm*m.

Ilustración 40 Tomografía 11



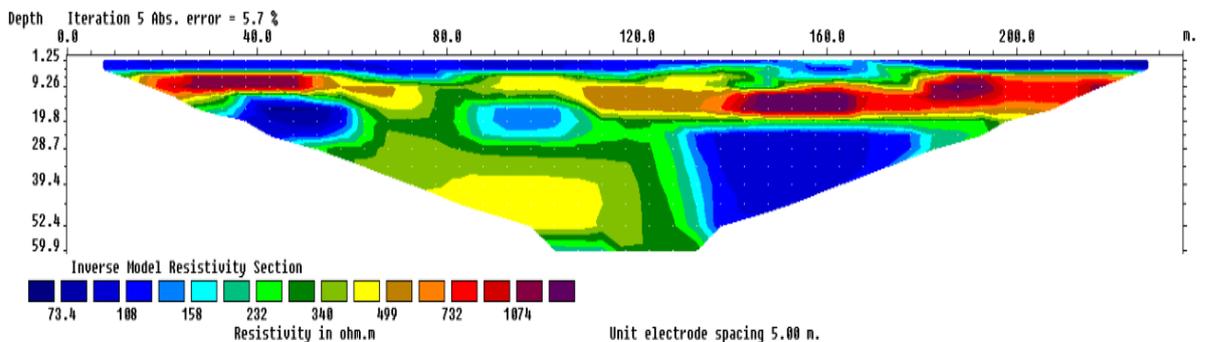
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima segunda tomografía eléctrica.

En la décima segunda tomografía eléctrica de resistividad se observa un rango de resistividad entre 73.4 a 1874 Ohm*m los cuales están divididos en diferentes gamas de colores, la cuales muestran materiales y características diferentes.

En el rango de resistividad entre 73.4 a 186 Ohm*m muestra una gama de colores de celeste a azul lo cual se interpreta como una zona permeable la cual se encuentra distribuida en la mayor parte de la (Ilustración 41), además contamos con una zona impermeable las cuales se encuentran a un rango profundidad entre 5m y 20m, finalmente, en la parte media de la ilustración 42, podemos observar zonas semipermeables que ayudan a la recarga hídrica de la zona.

Ilustración 41 Tomografía 12

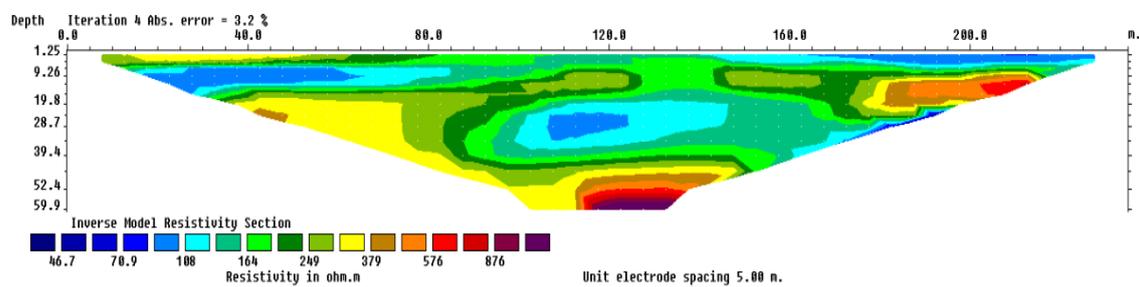


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima tercera tomografía eléctrica.

En la décima tercera tomografía eléctrica de resistividad podemos observar un rango de resistividad entre 46.7 a 876 Ohm*m, la mayor parte de la (Ilustración 42) se muestra en una gama de colores de entre celeste, verde y amarillo mostrando diferentes estratos del subsuelo, estos pueden ser suelos francos o arenosos en los cuales facilita la infiltración del agua hacia el subsuelo, finalmente en la parte más baja podemos ver zonas impermeables con un rango de resistividad entre 379 a 876 Ohm*m.

Ilustración 42 Tomografía 13

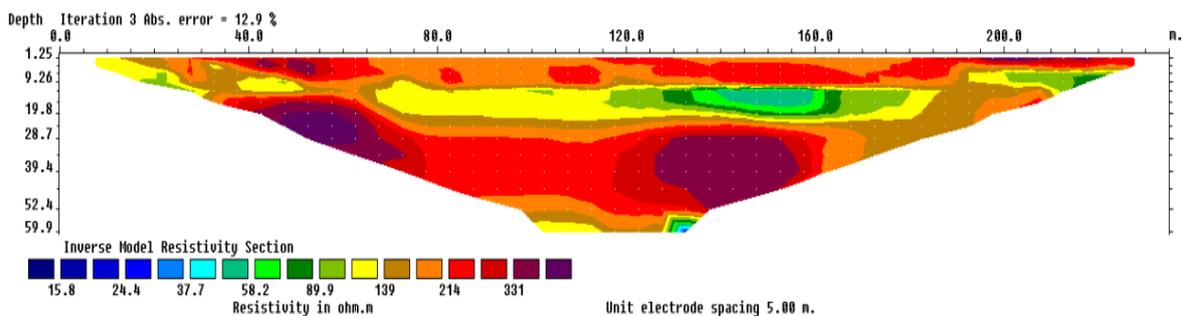


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima cuarta tomografía eléctrica.

En la décima cuarta tomografía eléctrica de resistividad en la (Ilustración 43) se observa un rango entre 15.8 a 331 Ohm*m, podemos visualizar que predomina los estratos impermeables los cuales van en un rango de 139 a 331 Ohm*m, con una gama de colores entre anaranjado y lila, además cuenta con una zona semi permeable que se encuentra confinada en los rangos de 9m a 30m.

Ilustración 43 Tomografía 14

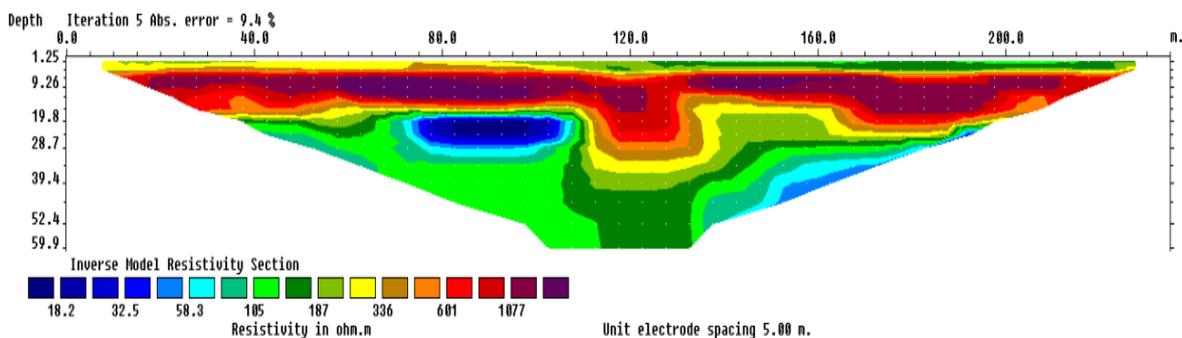


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima quinta tomografía eléctrica.

En la décima quinta tomografía eléctrica de resistividad (Ilustración 44) muestra un rango de resistividad entre 12.7 a 1455 Ohm*m en la cual se observa tipos de zonas, en los primero 30m podemos identificar zonas impermeables de coloración naranja a lila, en la parte media de la ilustración se puede observar una bolsa de una zona permeable con una resistividad entre 18.2 a 58.3 Ohm*m, finalmente en la parte inferior desde los 35m de profundidad se encuentra zonas semipermeables las cuales se evidencian con una coloración entre amarillo y verde.

Ilustración 44 Tomografía 15

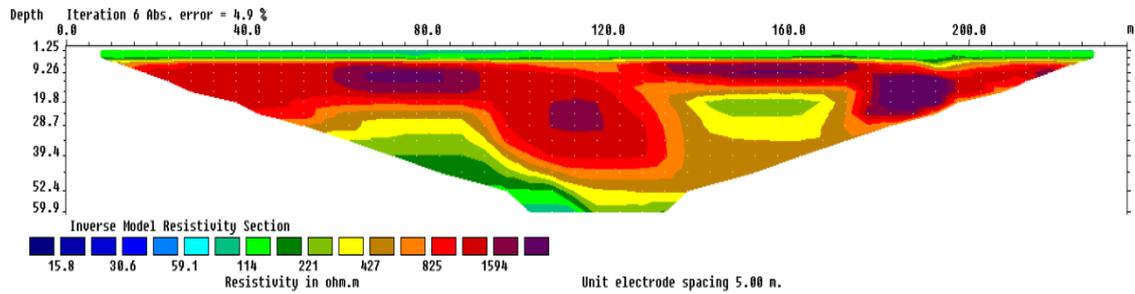


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima sexta tomografía eléctrica.

En la décima sexta tomografía eléctrica de resistividad muestra un rango de resistividad entre 15.8 a 15994 Ohm*m, como se puede visualizar en la (Ilustración 45), la característica principal que tenemos es una capa impermeable en la mayoría de la tomografía a una profundidad de 10m a50m con una coloración entre naranja y lila, por otro lado, aparecen zonas semipermeables después de esta capa las cuales se extienden hasta los 60m de profundidad.

Ilustración 45 Tomografía 16

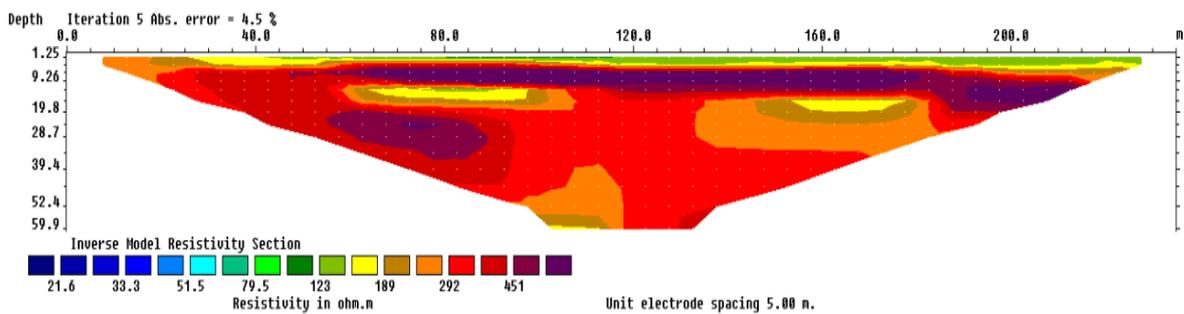


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima séptima tomografía eléctrica.

En la décima séptima tomografía eléctrica de resistividad se muestra un rango de resistividad entre 21.6 a 451 Ohm*m En la (Ilustración 46) muestra que los estratos con mayor predominancia en la zona son los suelos impermeables que tienden a una coloración café a lila con un rango de resistividad entre 189 a 451 Ohm*m.

Ilustración 46 Tomografía 17

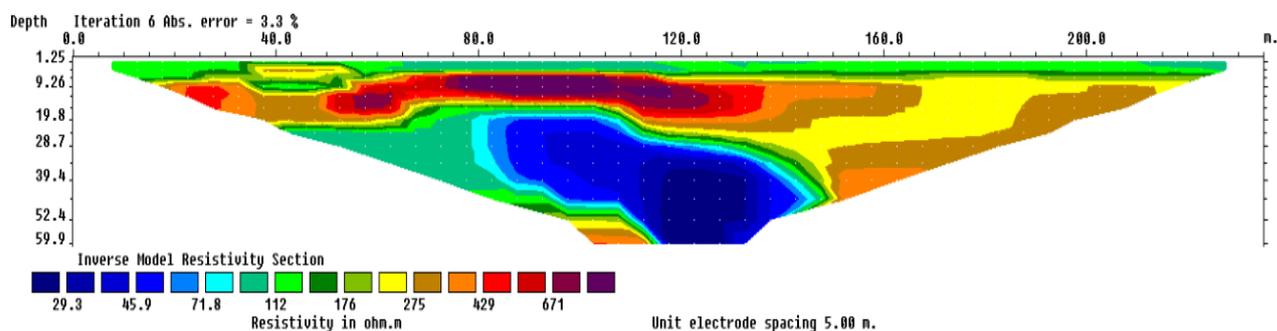


Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima octava tomografía eléctrica.

En la décima octava tomografía eléctrica de resistividad muestra componentes variados, es decir que existe varias zonas de estudio en los estratos inferiores, como se puede observar en la (Ilustración 47), en los primeros 10m podemos observar zonas semipermeables con cuna coloración verde, seguido de esta se evidencia zonas impermeables desde los 10m hasta los 25m, esto se observa por su color entre anaranjado y lila, finalmente en la parte más baja de la tomografía podemos visualizar una zona permeable la cual se puede identificar como un acuífero subterráneo, esto gracias a su coloración que varía desde celeste hasta azul oscuro.

Ilustración 47 Tomografía 18



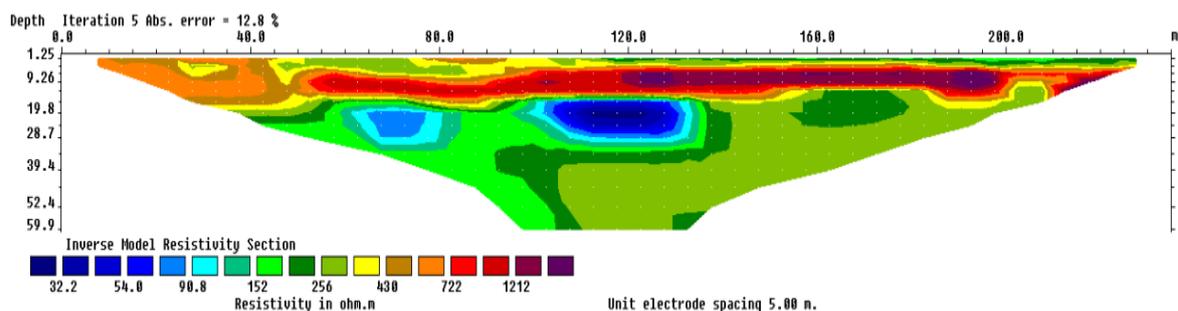
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la décima novena tomografía eléctrica.

En la décima novena tomografía eléctrica de resistividad en la cual se puede evidenciar un rango de resistividades entre 32.2 a 1212 Ohm*m.

En la (Ilustración 48) podemos observar una gama de colores en las cuales predomina la zona semipermeable la se encuentra en la mitad de la ilustración, con una coloración entre amarillo y verde, en la parte alta a una profundidad de hasta 20m encontramos zonas impermeables las cuales se encuentran en un rango de resistividad entre 438 a 1212 Ohm*m, finalmente encontramos una zona permeable en la mitad de la ilustración la cual tiene una coloración entre celeste y azul oscuro.

Ilustración 48 Tomografía 19



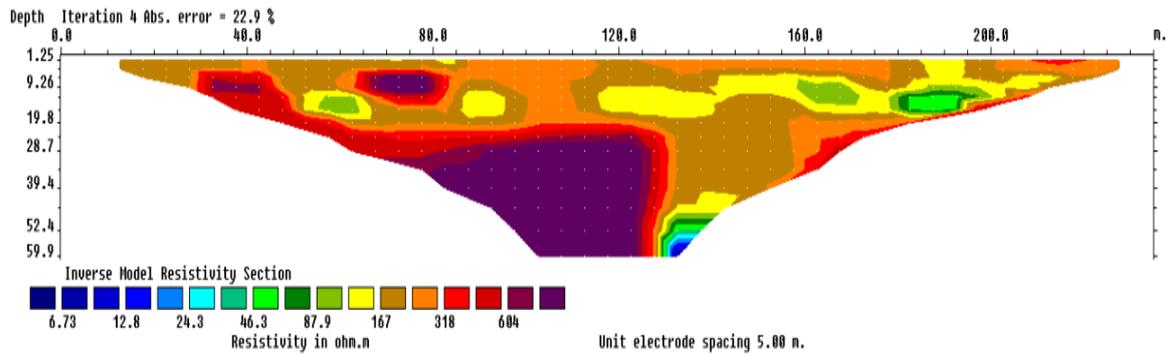
Fuente: Autor

Análisis e Interpretación de la vigésima tomografía eléctrica.

En la vigésima tomografía eléctrica de resistividad en la (Ilustración 49) se muestra en mayor parte zonas impermeables con una resistividad entre 167 a 684 Ohm*m, y una coloración entre anaranjado y lila, podemos observar en pequeñas cantidades zonas semipermeables las cuales se encuentran en los primero 20m de la tomografía y en la parte

más baja del estrato a una profundidad de 60m podemos evidenciar en pequeñas cantidades zonas permeables que es el acuífero que pasa por la zona de estudio.

Ilustración 49 Tomografía 2D



Fuente: Autor

4.2.3 Análisis e interpretación de estratigrafía 3D

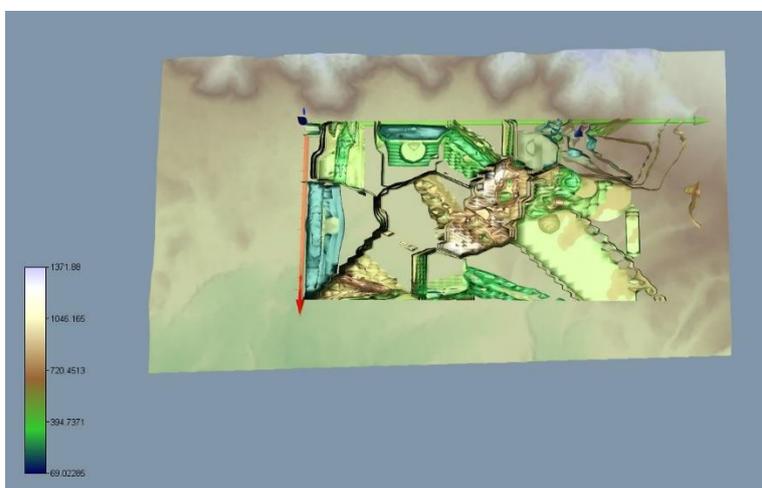
Un análisis tridimensional empleando el software voxler nos permite generar imágenes personalizadas a partir de las tomografías eléctricas y realizado una interpolación con los valores de resistividad de la zona de estudio, en este caso en el sector de Rumicruz se visualiza en las ilustraciones 50, 51 y 52 respectivamente que los valores tanto mínimos como máximos de resistividad oscilan entre 69.2 a 1371.88 Ohm*m es decir que el sector presenta una zona en la que el suelo está constituido con productos de origen volcánico, depósitos sedimentarios conformado por distintos estratos de color grisáceo compuesto por limos, areniscas, conglomerados generando conos monogénicos conocidos como conos de Calpi, estos conos comprenden una sucesión piroclástica, oxidados y poco estratificados, al presentar una estructura cónica redondeada con relieves bajos de aproximadamente 100 y 120 metros, hace que en la zona no conste con valores de resistividad bajos es decir que a mayor valores de resistividad menor será la presencia del recurso hídrico.

Ilustración 50 Modelamiento en tres dimensiones 3D zona completa de estudio



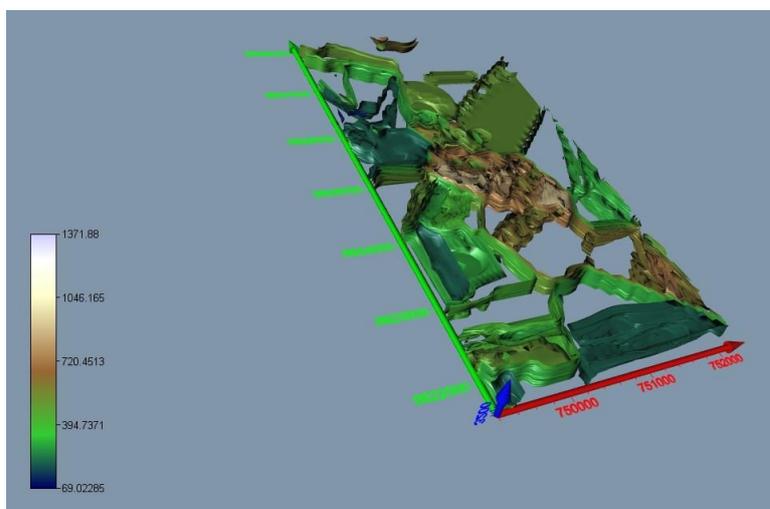
Fuente: Autor

Ilustración 51 Vista frontal de la Modelación tres dimensiones 3D corteza del estudio



Fuente: Autor

Ilustración 52 Modelamiento en tres dimensiones 3D vista lateral

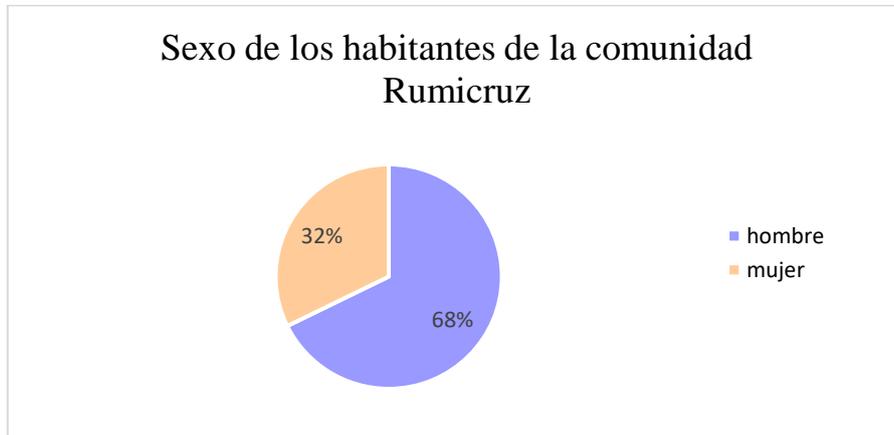


Fuente: Autor

4.3 ENCUESTA APLICADA

a. Sexo de los habitantes de la comunidad Rumicruz

Ilustración 53 a. Sexo de los habitantes de la comunidad Rumicruz

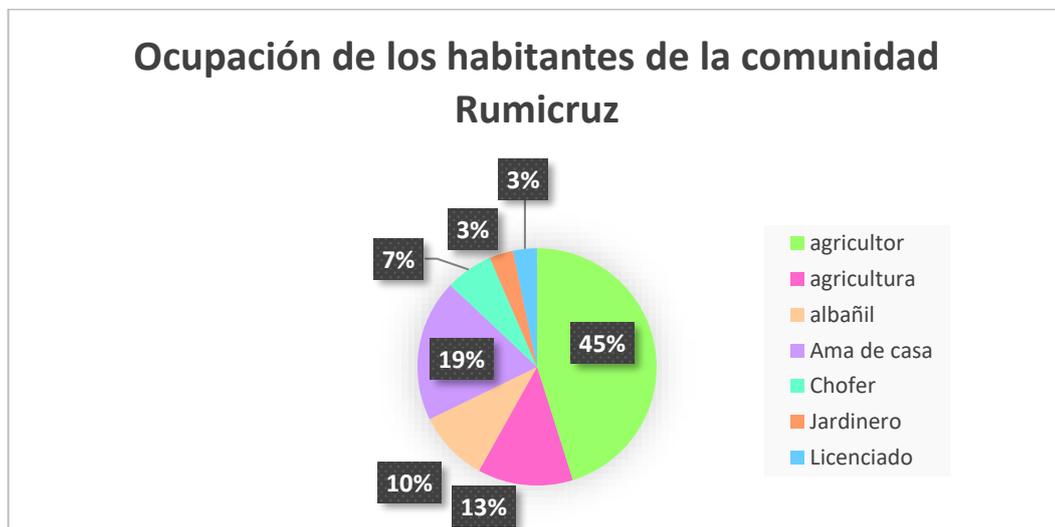


Fuente: Autor

Se observa en gráfico que el 68% de las personas encuestadas son de sexo masculino y el 32% de las personas encuestadas son de sexo femenino.

b. Ocupación de los habitantes de la comunidad Rumicruz

Ilustración 54 b. Ocupación de los habitantes de la comunidad Rumicruz



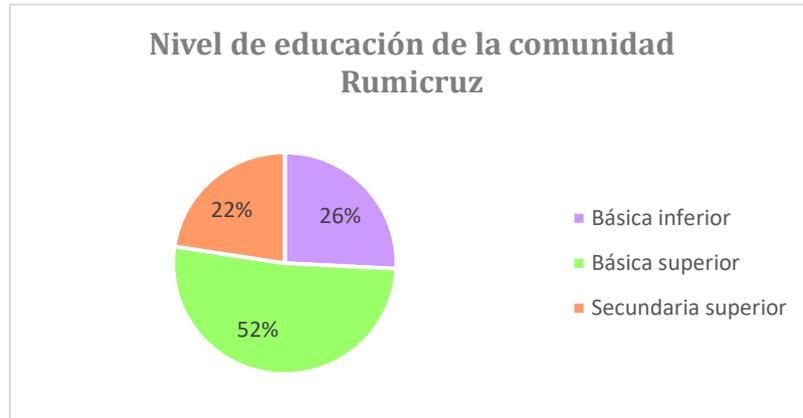
Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 45% de las personas encuestadas se dedican a ser agricultores, el 13% corresponde a mujeres que son agricultoras, el 19% de las personas encuestadas se dedican a ser amas de casa, el 10% de las personas encuestadas corresponden a que su

ocupación son albañiles, el 7% de las personas encuestadas son choferes, el 3% de las personas encuestadas corresponden a ser jardineros y licenciados respectivamente.

c. Nivel de educación de la comunidad Rumicruz

Ilustración 55 c. Nivel de educación de la comunidad Rumicruz



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 52% de las personas encuestadas culminaron sus estudios básicos, el 26% de las personas encuestadas no terminaron los estudios básicos, mientras que el 22% de las personas encuestadas en la comunidad alcanzaron sus estudios superiores.

1. Primera pregunta

Ilustración 56 Primera pregunta



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 90% de las personas encuestadas saben que el agua que se obtiene para su comunidad viene de una vertiente natural más conocida como ojo de agua

mientras que el 10% de las personas encuestadas en la comunidad respondieron que el agua obtenida para su comunidad viene de un túnel.

2. Segunda pregunta

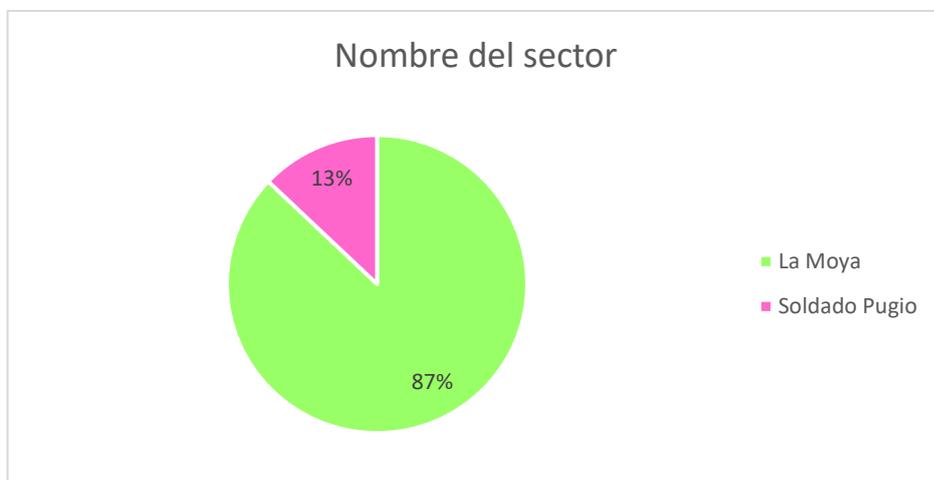
Ilustración 57 Segunda pregunta



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 97% de las personas encuestadas respondieron que si conocen el sector de donde llega en agua para su comunidad mientras que el 3% de las personas encuestadas respondieron que no conocían en sector de donde llega el agua para su comunidad.

Ilustración 58 Nombre del sector

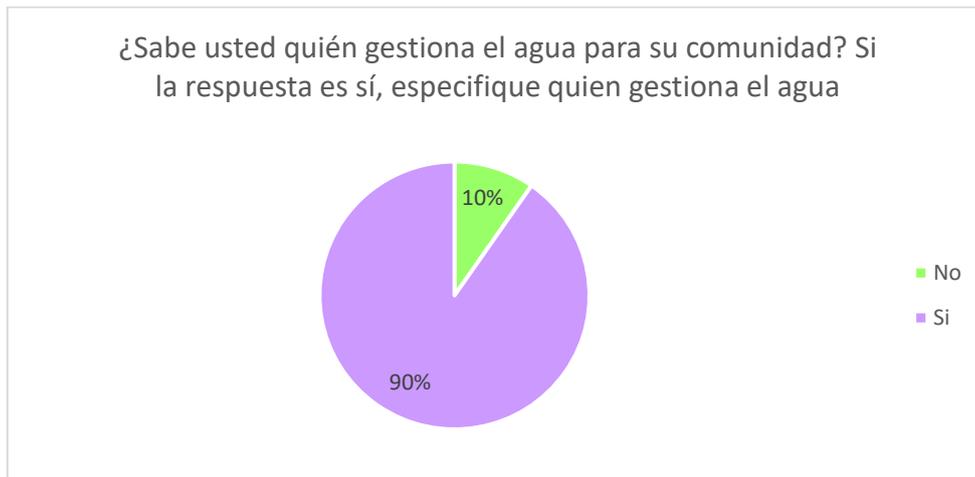


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 87% de las personas encuestadas saben que el agua que llega a su comunidad proviene del sector La Moya, mientras que el 13% de las personas encuestadas saben que el agua que llega a su comunidad proviene del sector Soldado Pugio.

3. Tercera pregunta

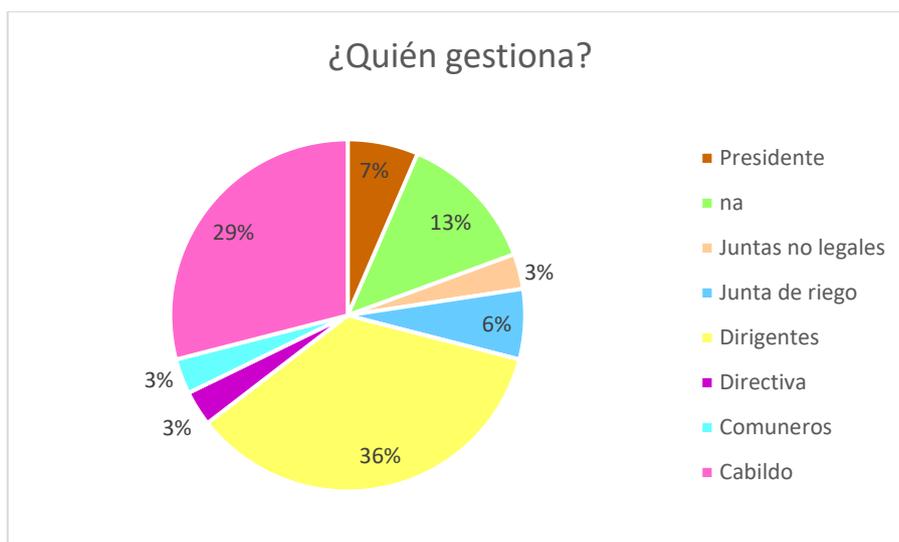
Ilustración 59 Tercera pregunta



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 90% de las personas encuestadas en la comunidad saben quién gestiona el agua, mientras que el 10% de los encuestados de Rumicruz respondieron que no saben quién gestiona el agua para su comunidad.

Ilustración 60 ¿Quién gestiona?

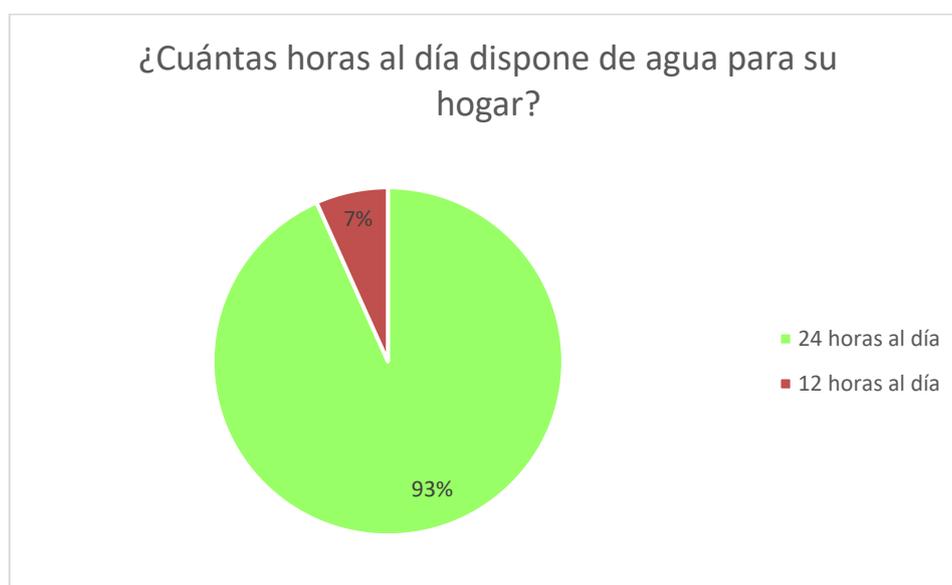


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 36% de las personas encuestadas respondieron que los responsables que gestionan el agua son los dirigentes de la comunidad, el 29% de las personas encuestadas respondieron que los responsables que gestionan el agua para su comunidad es el cabildo, el 13% de los encuestados en la comunidad no saben quién gestionan el agua, el 7% de las personas encuestadas respondieron que el presidente es quien gestiona el agua en su comunidad, el 6% de las personas encuestadas respondieron que el presidente es quien gestionan el agua para su comunidad, el 3% de los encuestados respondieron que las juntas no legales, la directiva y los comuneros son quienes gestionan el agua en su comunidad.

4. uarta pregunta

Ilustración 61 Cuarta pregunta

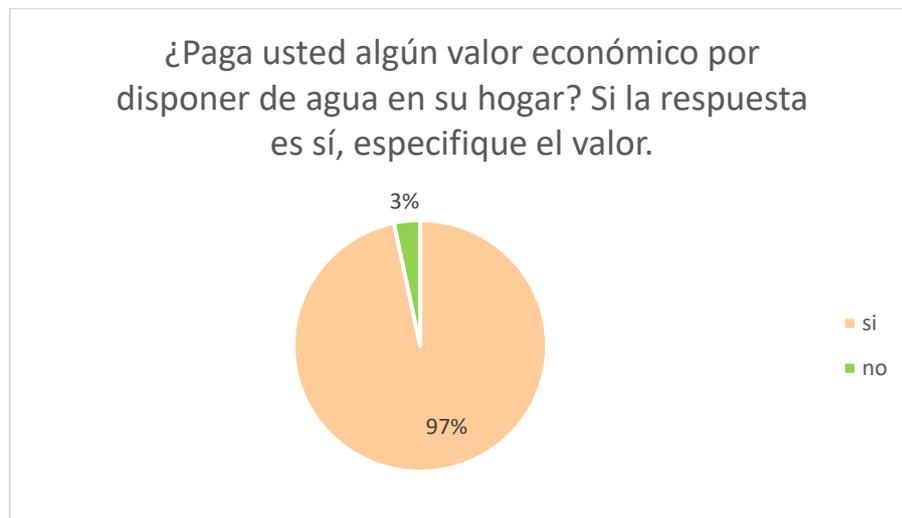


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 93% de las personas encuestadas disponen de 24 horas al día el agua para su hogar, mientras que el 7% de las personas encuestadas respondieron que 12 horas al día disponen del agua para sus hogares en la comunidad.

5. Quinta pregunta

Ilustración 62 Quinta pregunta

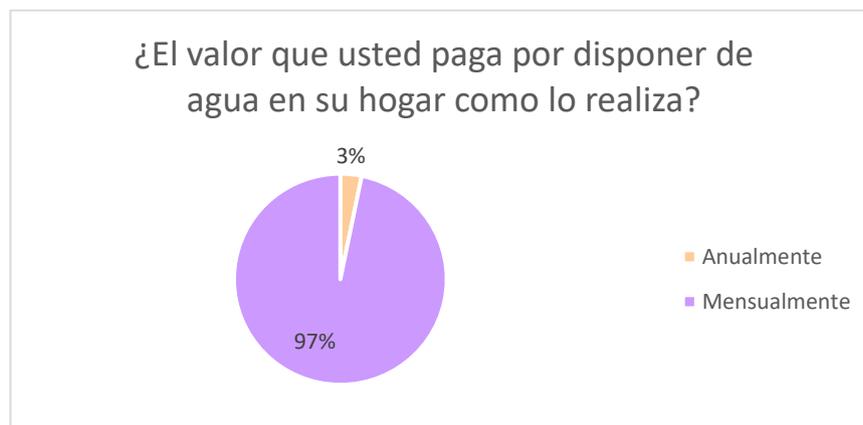


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 97% de las personas encuestadas si pagan un valor económico por disponer de agua en su hogar, mientras que el 3% de las personas encuestadas respondieron que no pagan un valor económico por la disposición de agua en su hogar.

6. Sexta pregunta

Ilustración 63 Sexta pregunta

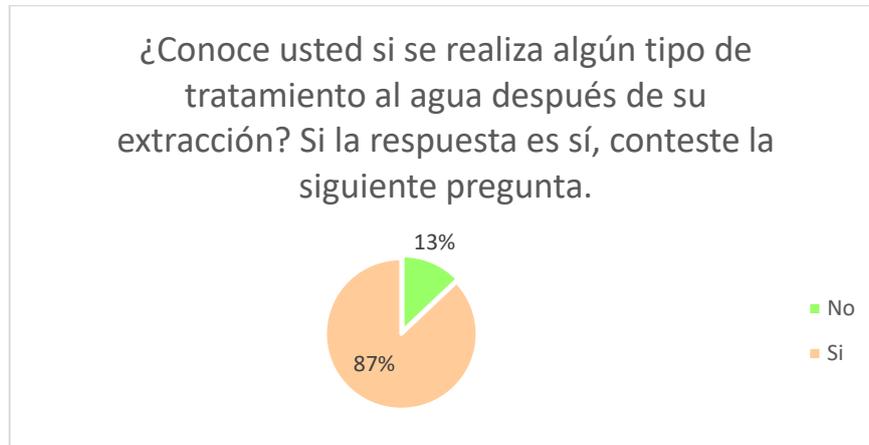


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 97% de las personas encuestadas realizan el pago por disponer agua en su hogar de manera mensual, mientras que el 3% de las personas encuestadas respondieron que lo realizan anualmente el pago por disponer de agua en su hogar.

7. Séptima pregunta

Ilustración 64 Séptima pregunta

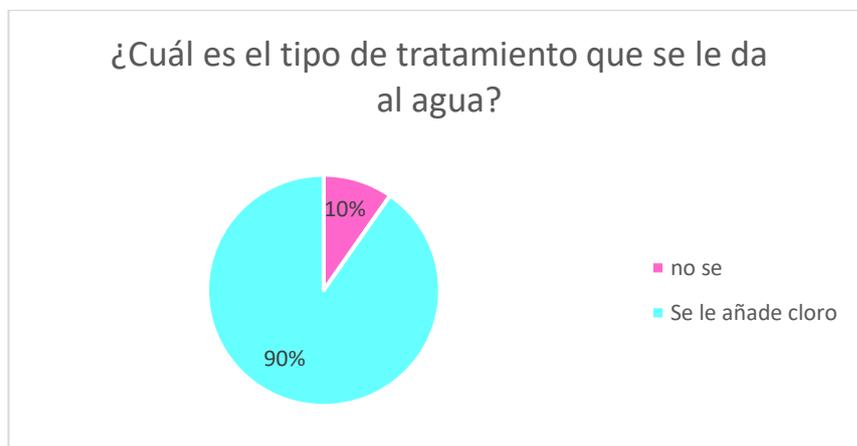


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 87% de las personas encuestadas si conocen que se realiza un tratamiento al agua, mientras que el 13% de los encuestados desconocen si se realizará algún tipo de tratamiento al agua que llega a sus hogares.

8. Octava pregunta

Ilustración 65 Octava pregunta

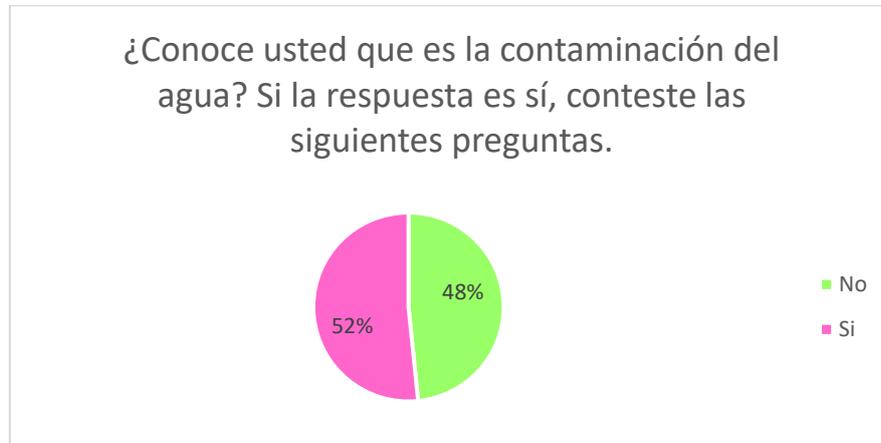


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 90% de las personas encuestadas respondieron que se le añade cloro al agua como tipo de tratamiento que ellos conocen, mientras que el 10% de las personas encuestadas no saben de algún tipo de tratamiento que se le dé al agua que llega a su comunidad.

9. Novena pregunta

Ilustración 66 Novena pregunta

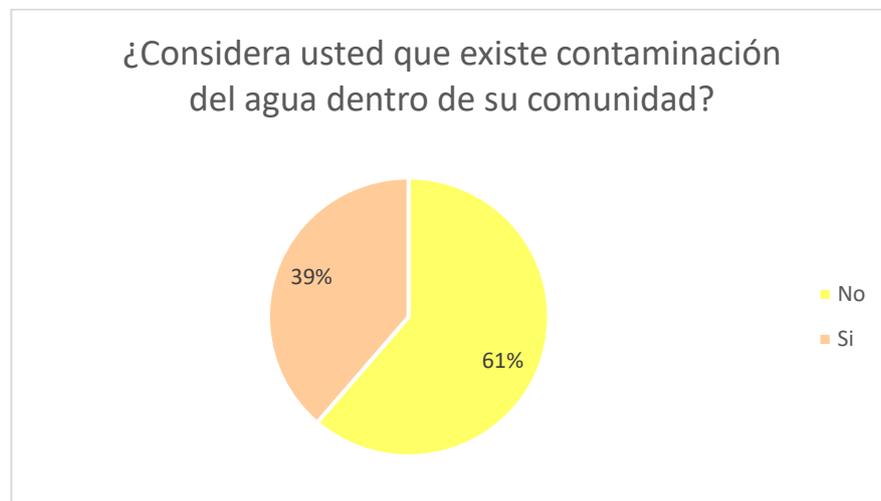


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 52% de las personas encuestadas si conocen que es la contaminación del agua, mientras que el 48% de los encuestados en la comunidad respondieron que no conocen que es la contaminación del agua.

10. Décima pregunta

Ilustración 67 Décima pregunta

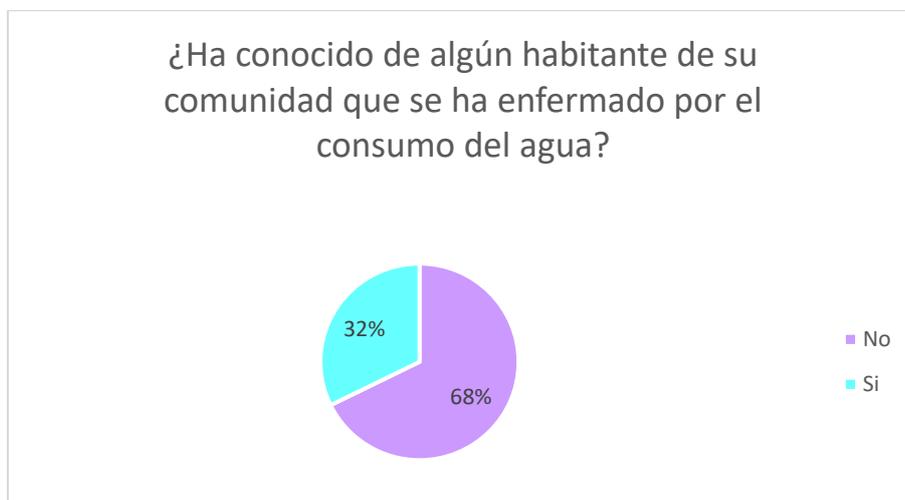


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 61% de las personas encuestadas no consideran que exista contaminación del agua dentro de su comunidad, mientras que el 39% de las personas encuestadas respondieron que si existe contaminación del agua dentro de su comunidad.

11. Décima primera pregunta

Ilustración 68 Décima primera pregunta

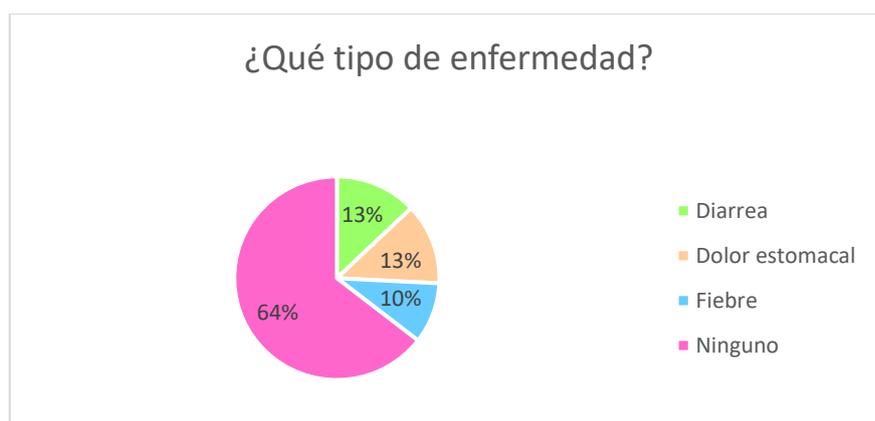


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 68% de las personas encuestadas no conocen de algún habitante de su comunidad que se ha enfermado por el consumo del agua, mientras que el 32% de las personas encuestadas sí conocen de algún habitante de su comunidad que se ha enfermado por el consumo del agua.

12. Décima segunda pregunta

Ilustración 69 Décima segunda pregunta



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 64% de las personas encuestadas en la comunidad no conocen ningún tipo de enfermedad, el 13% de los encuestados conocen que una de las enfermedades que han presentado es la diarrea, el otro 13% de las personas encuestadas en cambio conocen como enfermedad de dolor estomacal, mientras que el 10% de los encuestados en la comunidad conocen a la fiebre como un tipo de enfermedad.

13. Décima tercera pregunta

Ilustración 70 Décima tercera pregunta

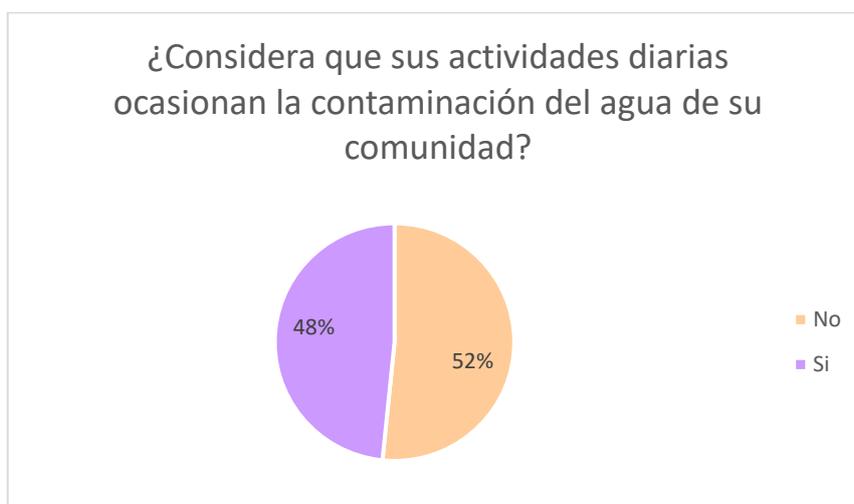


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 61% de las personas encuestadas creen que la causa por la cual se da la contaminación del agua es mediante la basura / desperdicios del hogar, el 23% de las personas encuestadas creen que la causa por la cual se da la contaminación del agua es mediante la ganadería, el 10% de los encuestados respondieron que la causa por la cual se da la contaminación del agua es mediante el uso de químicos en la agricultura, el 3% de las personas encuestadas respondieron que la causa por la cual se da la contaminación del agua es mediante el no cuidado y el mal uso.

14. Décima cuarta pregunta

Ilustración 71 Décima cuarta pregunta

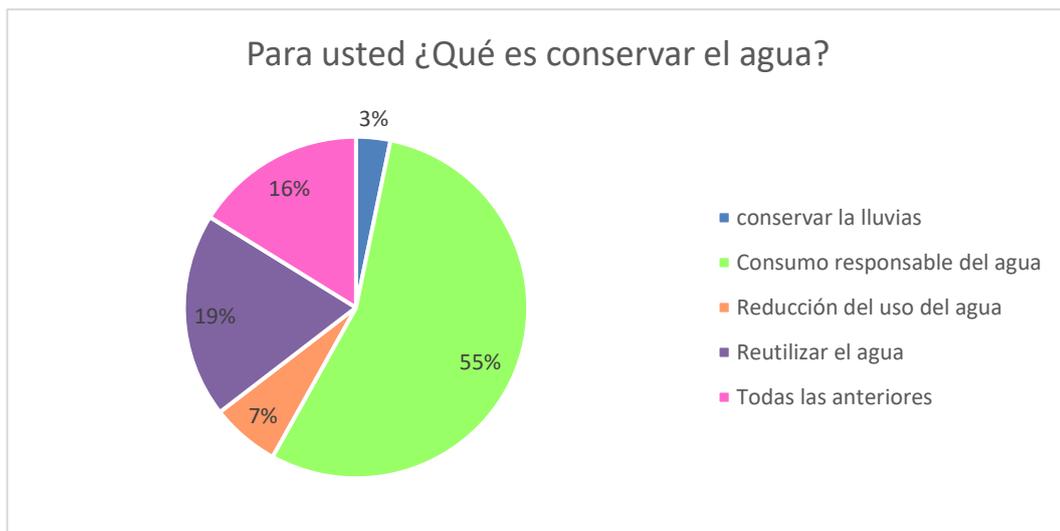


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 52% de las personas encuestadas no consideran que sus actividades diarias ocasionan la contaminación del agua de su comunidad, mientras que el 48% de las personas encuestadas si consideran que sus actividades diarias ocasionan la contaminación del agua de su comunidad.

15. Décima quinta pregunta

Ilustración 72 Décima quinta pregunta

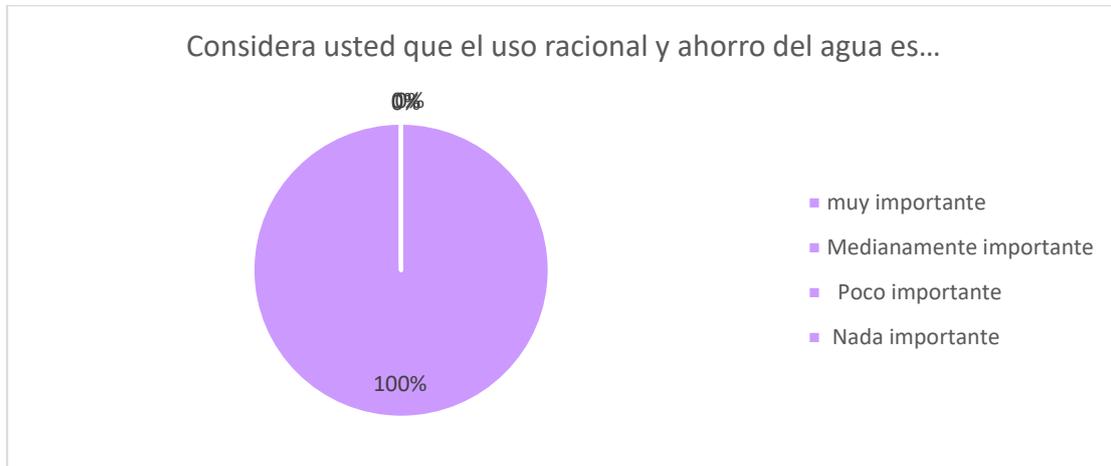


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 55% de las personas encuestadas consideran que conservar el agua es un consumo responsable del agua, el 19% de los encuestados respondieron que conservar el agua es reutilizar el agua, el 16% de las personas encuestadas respondieron que conservar el agua es la definición de todas las opciones anteriores mientras que el 7% de los encuestados consideran que conservar el agua es la reducción del uso del agua y el 3% de las personas encuestadas consideran que conservar el agua es conservar las lluvias.

16. Décima sexta pregunta

Ilustración 73 Décima sexta pregunta

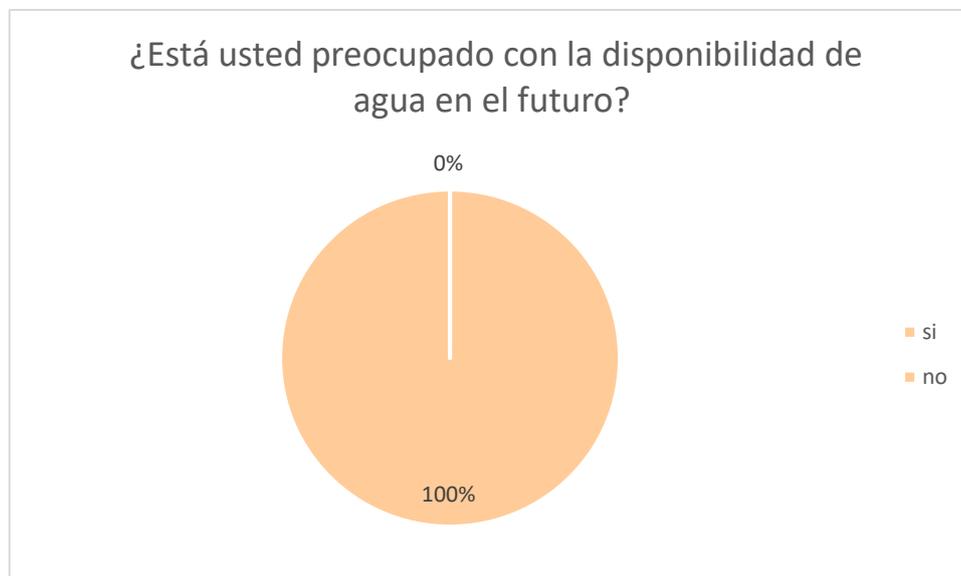


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 100% de las personas encuestadas consideran que el uso racional y ahorro del agua es muy importante.

17. Décima séptima pregunta

Ilustración 74 Décima séptima pregunta

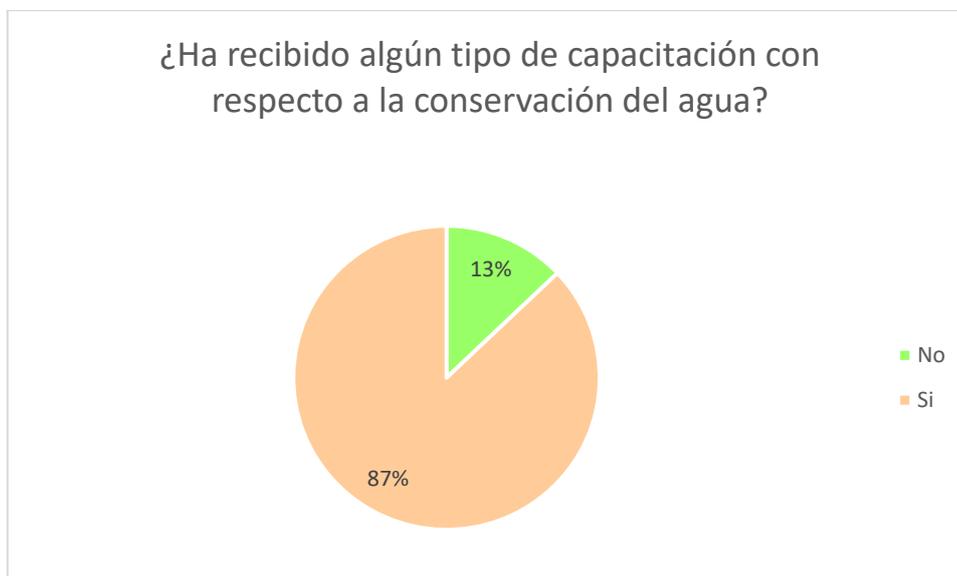


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 100% de las personas encuestadas están preocupadas por la disponibilidad de agua en el futuro.

18. Décima octava pregunta

Ilustración 75 Décima octava pregunta

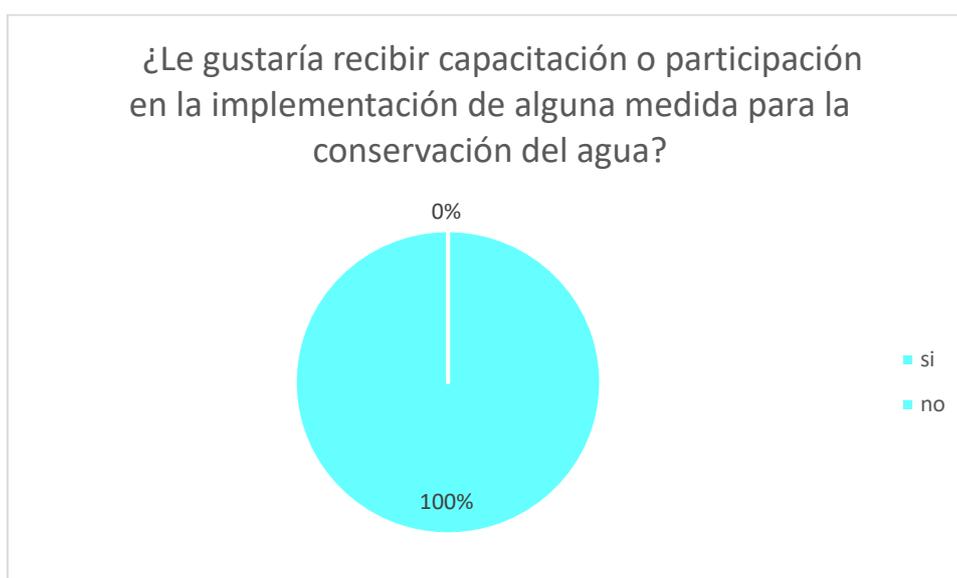


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 87% de las personas encuestadas si han recibido algún tipo de capacitación con respecto a la conservación del agua, mientras que el 13% de las personas encuestadas respondieron que no han recibido algún tipo de capacitación con respecto a la conservación del agua.

19. Décima novena pregunta

Ilustración 76 Décima novena pregunta

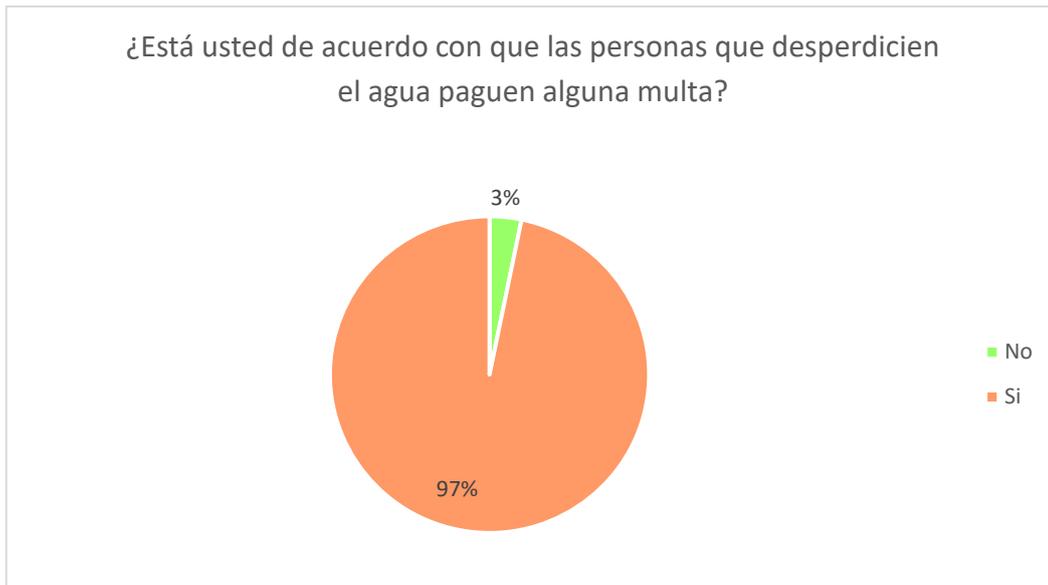


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 100% de las personas encuestadas si les gustaría recibir capacitación o participación en la implementación de alguna medida para la conservación del agua en su comunidad.

20. Vigésima pregunta

Ilustración 77 Vigésima pregunta

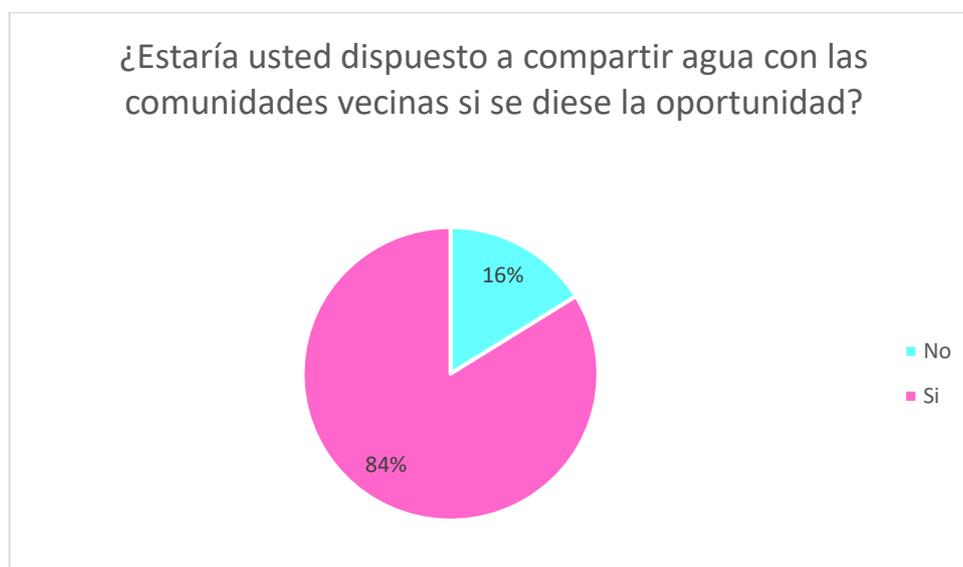


Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 97% de las personas encuestadas si están de acuerdo con que las personas que desperdicien el agua paguen alguna multa, mientras que el 3% de las personas encuestadas respondieron que no están de acuerdo con que las personas que desperdicien el agua paguen alguna multa.

21. Vigésima primera pregunta

Ilustración 78 Vigésima primera pregunta



Fuente: Autor

Se observa en el gráfico que el 84% de las personas encuestadas si están dispuesto a compartir agua con las comunidades vecinas si se diese la oportunidad, mientras que el 16% de los encuestados no están dispuesto a compartir agua con las comunidades vecinas si se diese la oportunidad.

4.4 MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

El uso intensivo del agua subterránea, su posible contaminación que puede llegar a ser irreversible, las situaciones de minería del agua subterránea, los conflictos entre los usuarios de acuíferos compartidos o dentro de un mismo acuífero, las interferencias con el ciclo del agua, en especial con el superficial y en cierto modo también el marino litoral, las deseconomías asociadas, y otros numerosos aspectos, requieren que la explotación del agua subterránea esté sometida a regulaciones y acuerdos. Así, se requiere disponer de normativa, un órgano legislativo y regulador, una administración que planifique y gestione y la participación de la sociedad, (Custodio & Cabrera, n.d.).

Lo que es relativamente fácil para las aguas superficiales, con grandes obras y usuarios bien conocidos, y efectos visibles y a corto plazo, no lo es para las aguas subterráneas. Eso es debido a que son muchos los usuarios, en amplios territorios, sin relación clara entre ellos, los que en general desconocen lo que ellos mismos hacen y sus efectos. Esto va acompañado de repercusiones no fácilmente apreciables cuando se producen, y con efectos a medio y largo plazo. Por lo tanto, hace falta una metodología de planificación, gestión y de

administración, distinta a la hasta ahora aplicada, para la que hay poca experiencia social y legislativa ya que la explotación intensiva de las aguas subterráneas es relativamente reciente, y en algunas regiones aún en sus inicios. Además, los organismos existentes en general están poco preparados, desconocen las aguas subterráneas incluso las menosprecian y no son conscientes de la “revolución silenciosa” a la que se están enfrentando, (Custodio & Cabrera, n.d.).

Por esas razones los métodos de planificación, gestión y administración deberían basarse en:

- Buen conocimiento de los sistemas acuíferos, al nivel que requiere la situación real.
- Suficientes redes de observación de las variables que interesan y afectan.
- Accesibilidad pública a la información.
- Participación de los usuarios a través de representantes elegidos y eficaces, posiblemente a través de Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas.
- Intervención de la Sociedad Civil para aportar la visión a medio y largo plazo, y dar estabilidad social ante vaivenes políticos.
- Administradores con autoridad reconocida, conocedoras y con visión a medio y largo plazo, con capacidad para la gestión a corto plazo. Han de modular la visión a corto plazo de muchos de los usuarios, estar libres de un exceso de influencia política y tener el apoyo de una justicia eficaz, (Custodio & Cabrera, n.d.).

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El método geofísico (tomografías eléctricas de resistividad) aplicado en el sector de Rumicruz permitió identificar las características estratigráficas del suelo, el cual está constituido por productos de origen volcánico, areniscas, conglomerados y rocas metamórficas, todos estos materiales son propios de la cordillera real de la región Sierra del Ecuador; esto nos indica que en la zona de estudio no hay presencia del recurso hídrico a una profundidad de los 60 metros analizados.
- Tanto el software Res2Dinv como el software voxler fueron utilizados para visualizar los datos geofísicos del sector Rumicruz, primero procesar los datos de las tomografías eléctricas de resistividad centrándose en un modelado en dos dimensiones 2D a partir de la inversión de datos; posterior a la interpolación se crea un modelado tridimensional mediante el cual se obtienen imágenes personalizadas en 3D de los datos y una visualización realista de la resistividad de zona, propiedad intrínseca de ciertos materiales subsuperficiales que indica su capacidad para resistir el flujo de corriente eléctrica.
- La población del sector Rumicruz en su mayoría se dedican a la ganadería y actividades agrícolas en la zona, son personas que necesitan del recurso hídrico para abastecer su comunidad y mediante la encuesta aplicada se obtienen datos en los que son conscientes de la falta de este recurso, además que si se hubiese encontrado algún tipo de indicio de la existencia del recurso hídrico subterráneo en la zona ellos estarían dispuestos a compartir este recurso con las comunidades aledañas, se refleja también la preocupación por la disponibilidad futura de este recurso, además un gran porcentaje en los comuneros están dispuestos a recibir capacitaciones constantes respecto a temas de conservación protección, uso consciente y responsable del recurso hídrico para su comunidad.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios en los cuales se proponga métodos diferentes a las tomografías eléctricas de resistividad con un arreglo Dipolo- Dipolo, ya que los datos que se obtuvieron de la estratigrafía del sector Rumicruz alcanzaron una profundidad de 60 metros del subsuelo en los que se evidenciaron que el suelo está constituido por material de origen volcánico, por ende, valores de resistividad totalmente alejados a la posible existencia del recurso hídrico subterráneo en la zona.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agueda, J. (2004). *Estratoylamina*.

Arias, E. (2011). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA EXPLORACIÓN GEOTECN UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MAESTRÍA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA N GEOTECNICA-RELACIONES GEOÉLECTRICAS PRESENTADO POR: DANIEL EDUARDO ARIAS UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE MINAS ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRÍA EN INGENIERIA GEOTECNIA MEDELLÍN, COLOMBIA FEBRERO DE 2011 LECTRICAS.*

Asprilla, J. (2018). *AsprillaEcheverriaJohnMilton2018*.

Auge, G. (2008). *DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES BUENOS AIRES 2008.*

Barba, D. (2006). *CD-0162*.

Bernal, I., & Rosado, F. (2019). *ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE RECORD CCONCCACCA.*

Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015a). *INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA*. www.inamhi.gob.ec

Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015b). *INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA*. www.inamhi.gob.ec

Camacho, B. (n.d.). *CAPÍTULO 7 LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA INTRODUCCIÓN.*

Carrasco, P. (2011). *\376\377\000M\000E\000M\000O\000R\000I\000A\000\000P\000R\000O\000Y\000E\000C\000T\000O\000\000F\000I\000N\000\000D\000E\000\000M\000A\000S\000T\000E\000R\0005.*

Casas, J., Repullo, J. R., & Donado, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención Primaria*, 31(8), 527–538. [https://doi.org/10.1016/s0212-6567\(03\)70728-8](https://doi.org/10.1016/s0212-6567(03)70728-8)

Corruña, U. (n.d.). *Capítulo 1 CONCEPTOS GENERALES Y DEFINICIONES.*

Cortez, J. (n.d.). *“EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA CIUDAD DE ORURO.”*

Cortez, J. (2020). *“EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA CIUDAD DE ORURO.”*

- Cuesta, E. (n.d.). *ESTRATIFICACIÓN CRUZADA Y BIOTURBACIÓN (GALERÍA) EN ESTRATOS DE LA FORMACIÓN TABLAZOS-COMUNA DE SAN RAFAEL-PROVINCIA DE SANTA ELENA-ECUADOR APUNTES DE ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTACIÓN.*
- Custodio, E., & Cabrera, M. (n.d.). *Métodos de estudios hidrogeológicos.*
- Daus, A. (2019). *Almacenamiento y Recuperación de Agua en Acuíferos División de Agua y Saneamiento DOCUMENTO PARA DISCUSIÓN N°.* <http://www.iadb.org>
- De Tena, M., Charro, C., Salgado, J., & Mayoral, V. (2020). Geological characterisation of the settlement of Villasviejas del Tamuja (Cáceres, Spain). *Quaternary International*, 566–567, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.024>
- Fuentes, J. (n.d.). *AGUAS SUBTERRANEAS.*
- García, R., & Leal, M. (2009). *PROBLEMATICA DETECTADA.*
- Graterol, R. (n.d.). *metodos-de-investigacion.*
- Guerrero, R., & Bravo, V. (2011). *Conceptos básicos de Estratigrafía* (Issue 44).
- Gutiérrez, C. (2014). *1. toaz.info-hidrologia-basica-y-aplicada-carlos-gutierrez-caiza-pr_bf47f81f1b4398dae8b60094272cebe2.*
- Hernández, M. (2019). *Tesis que presenta.*
- Lara, R. (2011). *2. MARCO TEÓRICO. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2.1 Antecedentes.*
- López, Y. (2020). *INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA "La electrónica, la programación y la geofísica en la.*
- Mesache, M. (2018). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.*
- Ordoñez, J. (2011a). *“Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico” LIMA-PERÚ 2011 Cartilla Técnica Cartilla Técnica.*
- Ordoñez, J. (2011b). *“Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico” LIMA-PERÚ 2011 Cartilla Técnica Cartilla Técnica CICLO HIDROLÓGICO CICLO HIDROLÓGICO.*
- Pérez, K. (2019). *TMIPICYTP4E72019.*
- Román, A. (2022). *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS “DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ” EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRANEA PARA CONSUMO HUMANO EN CANTONES DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS INGENIERA AMBIENTAL MONITOREO, MANEJO Y CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES.*

Ruiz, L., & Rada, W. (2015). 00002834.

Salguero, D. (2017). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA ZONA COMPRENDIDA POR LA HOJA TOPOGRAFICA GUANO ESCALA 1:50.000, PROVINCIA DE CHIMBORAZO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA.*

Sánchez, R. (2011). A5.

Sánchez, V. (2013). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA.*

Serrano, J. (2003). *Tema 3: TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 3.1 Introducción.*

Subsuelo3D. (2017). *"ESTUDIO DE GEOELÉCTRICA PARA PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CABECERA MUNICIPAL DE.*

Tuaza, L. (2018). *Anejos libres e indios sueltos : La Moya y sus alrededores.*

Villarroya, F. (2009). *Tema: Tipos de acuíferos y parámetros hidrogeológicos.*

Weinzettel, P., Dietrich, S., Varni, M., & Sierra, L. (2017). *HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION IN A VALLEY BY MEANS OF THE APPLICATION OF GEOELECTRICAL METHODS.*

7. ANEXOS

RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Ilustración 79 Sector norte de Rumicruz



Fuente: Autor

Ilustración 80 Sector este de Rumicruz



Fuente: Autor

Ilustración 81 Sector sur de Rumicruz



Fuente: Autor

Ilustración 83 Comunidad Rumicruz



Fuente: Autor

Ilustración 82 Sector oeste de Rumicruz



Fuente: Autor

Ilustración 84 Siembras en el sector



Fuente: Autor

INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES

Ilustración 85 Montaje de los equipos en campo **Ilustración 86** Instalación de cables en campo



Fuente: Autor

Ilustración 87 Colaboración de comuneros



Fuente: Autor

Ilustración 89 Testeo de electrodos



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Ilustración 88 Colocación de estacas



Fuente: Autor

Ilustración 90 Puesta de cable



Fuente: Autor

LECTURA DE LA RESISTIVIDAD EN EL CAMPO Y PUNTOS GPS

Ilustración 91 Lectura de la resistividad



Fuente: Autor

Ilustración 93 Toma de datos GPS



Fuente: Autor

Ilustración 95 Espera de lectura de datos



Fuente: Autor

Ilustración 92 Configuración de líneas



Fuente: Autor

Ilustración 94 Comprobación electrodo-suelo



Fuente: Autor

Ilustración 96 Comuneros



Fuente: Autor

Ilustración 97 Lectura de datos en campo



Fuente: Autor

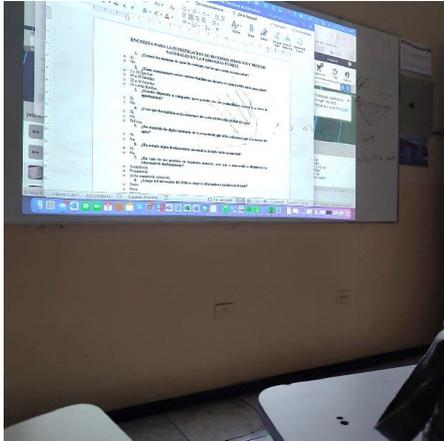
Ilustración 98 Procesamiento de resistividad



Fuente: Autor

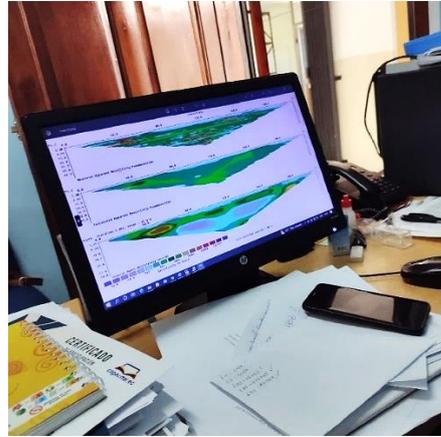
PROCESAMIENTO DE DATOS

Ilustración 99 Ejecución de datos



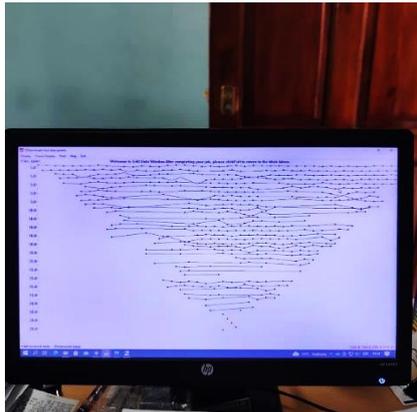
Fuente: Autor

Ilustración 100 Procesamiento de tomografías



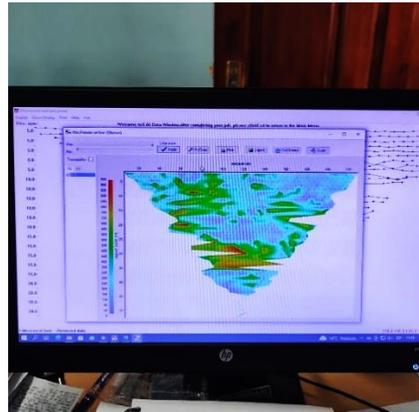
Fuente: Autor

Ilustración 101 Corrección de puntos



Fuente: Autor

Ilustración 102 Interpolación de datos



Fuente: Autor

APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Ilustración 103 Comuneros encuestados **Ilustración 104** Colaboración en la encuesta



Fuente: Autor



Fuente: Autor

MODELO DE ENCUESTA REALIZADA



ENCUESTA PARA LA INVESTIGACIÓN DEL SEMILLERO DE RECURSOS
HÍDRICOS SOBRE DE PERCEPCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA
COMUNIDAD "RUMICRUZ" DE LA PARROQUIA CALPI - RIOBAMBA



Fecha: _____

DATOS DEL ENCUESTADO

Nombre:	<i>Mónica Padilla</i>
Sexo:	<i>Mujer</i>
Ocupación:	<i>Docente</i>
Nivel de educación:	<i>Primaria Completa</i>

1. ¿Sabe usted de dónde se obtiene el agua para su comunidad?
 - Río
 - Pozo
 - Vertiente natural /Ojo de agua
 - Otro (especifique)..... *Tune!*
2. ¿Conoce usted desde que sector llega el agua a su comunidad? Si la respuesta es sí, especifique el nombre del sector.
 - Si
 - No
 - Nombre del sector..... *La muelle*
3. ¿Sabe usted quién gestiona el agua para su comunidad?
 - Si
 - No
 - Especifique..... *Dependa*
4. ¿Cuántas horas al día dispone de agua para su hogar?
 - 24 horas al día
 - 12 horas al día
 - Menor a 6 horas al día
5. ¿Paga usted algún valor económico por disponer de agua en su hogar? Si la respuesta es sí, especifique el valor.
 - Si
 - No
 - Especifique el valor..... *1\$*
6. ¿El valor que usted paga por disponer de agua en su hogar como lo realiza?
 - Diariamente
 - Mensualmente
 - Anualmente
7. ¿Conoce usted si se realiza algún tipo de tratamiento al agua después de su extracción? Si la respuesta es sí, conteste la siguiente pregunta.
 - Si
 - No
8. ¿Cuál es el tipo de tratamiento que se le da al agua?
 - Se le añade cloro
 - Se le añade yodo
 - Pasa por un filtro
 - Otro (especifique).....
9. ¿Conoce usted que es la contaminación del agua? Si la respuesta es sí, conteste las siguientes preguntas.
 - Si
 - No
10. ¿Considera usted que existe contaminación del agua dentro de su comunidad?
 - Si
 - No
11. ¿Ha conocido de algún habitante de su comunidad que se ha enfermado por el consumo del agua?
 - Si
 - No
12. ¿Qué tipo de enfermedad?
 - No
 - Diarrea
 - Fiebre
 - Dolor estomacal
 - Hepatitis
 - Otro (especifique).....
13. ¿Según su opinión, cuál cree usted que es la causa por la cual se da la contaminación del agua?
 - Basura / desperdicios del hogar
 - Uso de químicos en la agricultura.
 - Ganadería.
 - Otros (especifique)..... *No le gusta*
14. ¿Considera que sus actividades diarias ocasionan contaminación del agua de su comunidad?
 - Si
 - No
15. Para usted ¿Qué es conservar el agua?
 - Reducción del uso del agua
 - Consumo responsable del agua
 - Reutilizar el agua
 - Todas las anteriores
 - Otro (especifique)..... *hacer*
16. ¿Considera usted que el uso racional y ahorro del agua es...
 - Muy importante
 - Medianamente importante
 - Poco importante
 - Nada importante
17. ¿Está usted preocupado con la disponibilidad de agua en el futuro?
 - Si
 - No
18. ¿Ha recibido algún tipo de capacitación con respecto a la conservación del agua?
 - Si
 - No
19. ¿Le gustaría recibir capacitación o participación en la implementación de alguna medida para la conservación del agua?
 - Si
 - No
20. ¿Está usted de acuerdo con que las personas que desperdicien el agua paguen alguna multa?
 - Si
 - No
21. ¿Estaría usted dispuesto a compartir agua con las comunidades vecinas si se diese la oportunidad?
 - Si
 - No